الدراسة الميدانية و التجارب المعملية

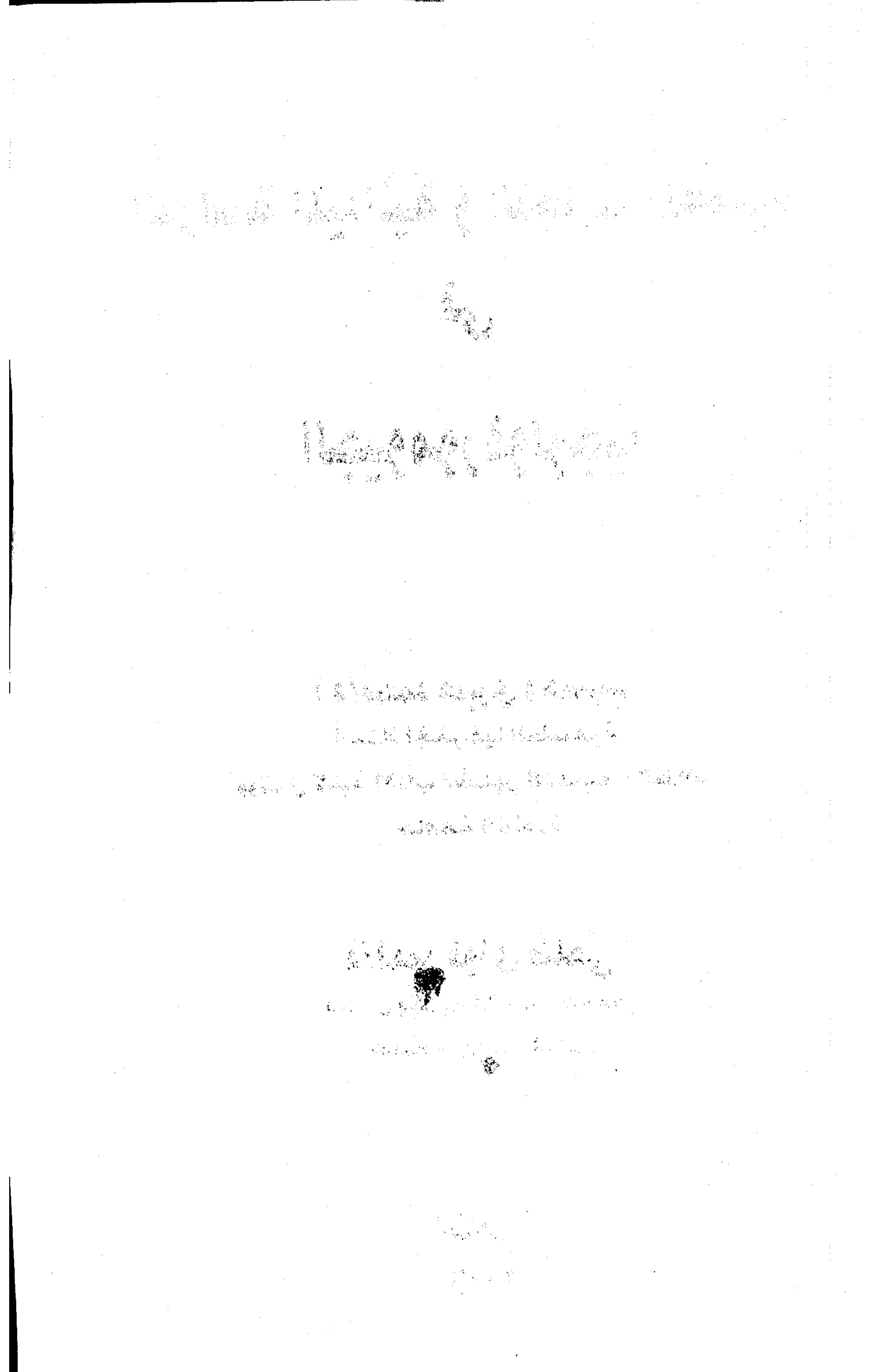
فى

الجيومورفولوجيا

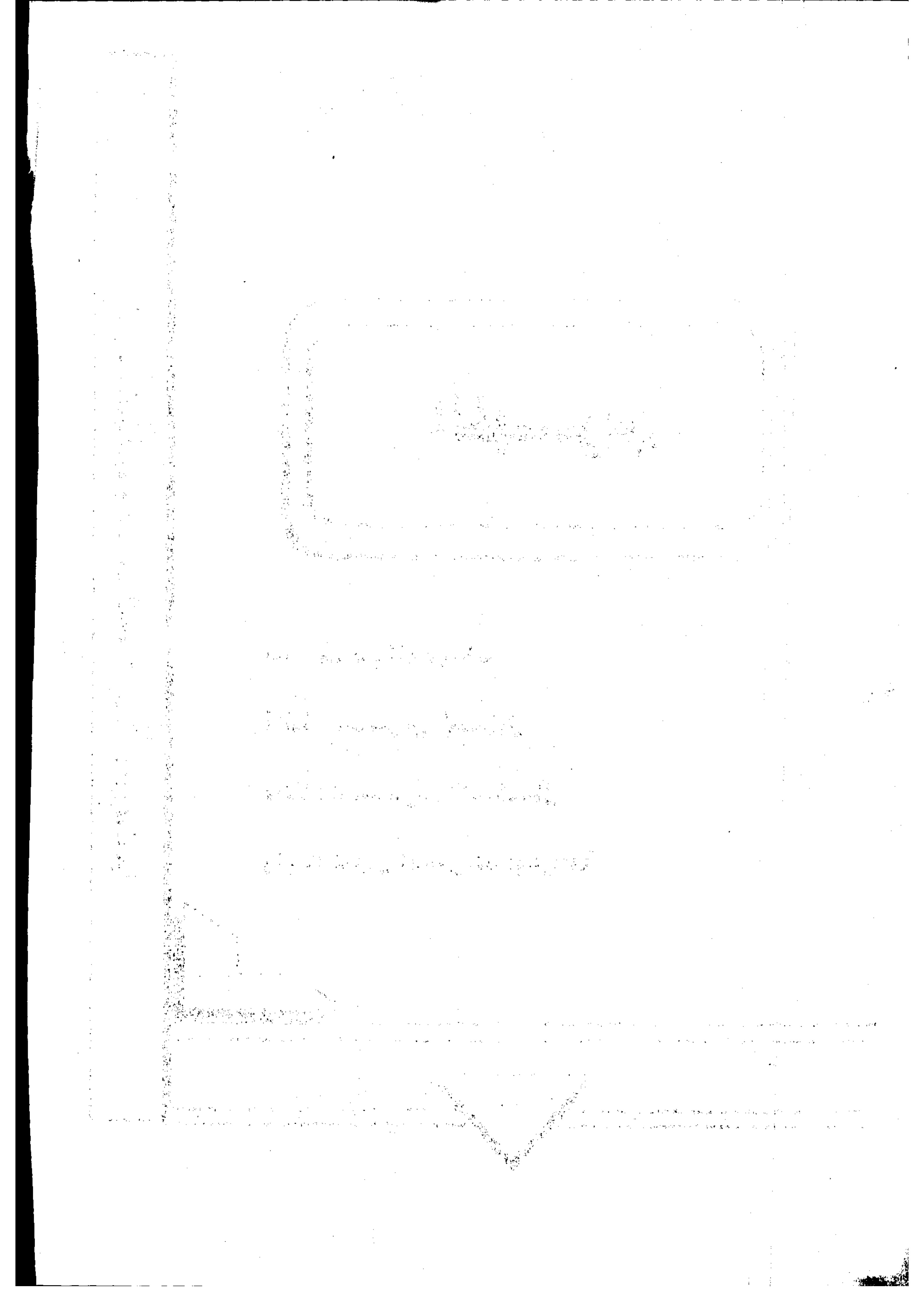
أ.د/محمد صبرى محسوب
أستاذ الجغرافيا الطبيعية
ووكيل كلية الآداب لشئون التعليم و الطلاب
جامعة القاهرة

د/أحمد فوزى ضاحى
مدرس بكلية الآداب بسوهاج
جامعة جنوب الوادى

القاهرة
٢٠٠٦



الفهـــرس



أولاً : فهرس الموضوعات :

ثانياً : فهرس الجداول :

ثالثاً : فهرس الأشكال :

رابعاً : فهرس الصور الفوتوغرافية :

يتضمن هذا الكتاب المعنون "الدراسة الميدانية والتجارب المعملية فى الجيومورفولوجيا" تسعة فصول تبدأ بالفصل الأول، وهو عبارة عن مدخل لتفهم ماذا يقصد بالدراسة الميدانية والعمل المعملى وماذا يتم من قياسات وتجارب فى الميدان، وماذا يتم فى المعمل من خلال القياسات والتجارب من خلال نماذج تحاكى فى معظمها ما يتم فى الطبيعة، وينتهى هذا الفصل بتحديد لأهم الأجهزة والأدوات الخاصة بالعمل الميدانى.

ويختص الفصل الثانى بالتجوية وبأنواعها المختلفة وكيفية متابعتها وملاحظتها ميدانياً ومعملياً ومدى إمكانية قياس آثارها وتأثيرها على الأشكال الأرضية وذلك بأبسط الطرق وأقل الإمكانات المتاحة والملائمة لظروفها وظروف منطقتنا.

ويتضمن الفصل الثالث القياسات الميدانية الخاصة بالمنحدرات والأودية الجافة وحركة المواد على السفوح مع الإشارة إلى بعض الدراسات التى تمت بالفعل من قبل دارسين سابقتين.

ويتضمن الفصل الرابع القياسات الميدانية الخاصة بالأشكال والظاهرات الكارستية مع أمثلة من القياسات التى قام بها المؤلف الأول وغيره بمناطق كارستية فى مصر وبعض الدول العربية.

ويعد الفصل الخامس من الفصول التى تتضمن قياسات ميدانية وتجارب معملية للعمليات المرتبطة بالرياح وهى من العوامل الأكثر أهمية فى تشكيل سطح الأرض فى مصر خاصة فى المناطق الصحراوية.

والفصل السادس بعنوان الأنهار والتعرية النهرية من الدراسة الميدانية والتجارب الميدانية.

أما الفصل السابع فيختص بالدراسة والقياس الميدانى للعمليات البحرية الساحلية بجانب التجارب الميدانية والمعملية الخاصة بدور تلك العمليات فى تشكيل الأشكال الساحلية سواء تلك المرتبطة بالنحت وتلك المرتبطة بالإرساب إلى جانب القياسات الخاصة بتلك الأشكال والخصائص التى تميز السواحل بأنواعها المختلفة.

والفصل الثامن يختص بكيفية جمع عينات الرواسب وتحديد خصائصها معملياً من خلال تمثيلها بيانياً.

وينتهى الكتاب بالفصل التاسع وهو بعنوان "القطاعات والتحليل المورفومترى من الخريطة الكنتورية" وينقسم إلى قسمين القسم الأول يختص بالقطاعات التضاريسية والقسم الثانى ويشمل التحليل المورفومترى للأشكال الأرضية خاصة ما يرتبط بأحواض الأودية والبحيرات وغيرها.

والكتاب بما يتضمنه من مبادئ وأسس للدراسة الميدانية يعد جهداً فى الطريق ساهم فى إنجازه مؤلفان، الأول وقد قام بكتابة معظم فصوله أما المؤلف الثانى فقام بكتابة الجزء الأول من الفصل الثالث الخاص بقياسات المنحدرات والأودية والمراوح الفيضية وكذلك قام بكتابة الفصل الثامن بكاملة والخاص بتحليل الرواسب وتحديد خصائصها الكيماوية والحجمية والمعدنية وكذلك تحليلها ميكروسكوبياً كما قام بإخراج الكتاب وتنظيم الخرائط والأشكال.

ويأمل المؤلفان أن يكون هذا الجهد، إضافة للمكتبة الجغرافية العربية يجد فيه طلاب الجغرافيا بشكل عام وطلاب الجيومورفولوجيا بشكل خاص ما ينفعهم فى دراستهم.

ولا يفوتنا التقدم بالشكر لكل من؛ الأستاذ عمرو صبرى محسوب المعيد بآداب عين شمس والأستاذ محمد إبراهيم خطاب والأستاذ محمود عبد الراضى أبو المجد فنى الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية بآداب سوهاج للمساعدة وتنظيم المادة العلمية والإخراج النهائى للخرائط والأشكال.

والله الموفق

المؤلفان ،

الفصل الأول

مدخل لتفهم الدراسة الميدانية والعمل الميداني وأجهزة وأدوات العمل الميداني

أولاً : الدراسة الميدانية.

ثانياً : التجارب والعمل الميدانى.

ثالثاً: الأجهزة والأدوات اللازمة للعمل الميدانى.

أولاً : الدراسة الميدانية

(أ) أهميتها :

تلعب الدراسات الميدانية دوراً حيوياً فى كل المجالات الجيومورفولوجية، وتعد الملاحظات الميدانية **Field Observation** ذات أهمية كبرى فى تأكيد واختبار الفروض **Hypothesis** والحسابات النظرية إلى جانب ارتباطها بعمل النماذج **Models**.

والواقع أن الطرق المستخدمة فى دراسة أشكال سطح الأرض تعتمد أساساً على طبيعة المشكلة التى يراد حلها والتى يمكن تقسيم مجالاتها إلى نوعين؛ النوع الأول ويختص بالأشكال الأرضية الثابتة نسبياً، والنوع الثانى ويتمثل فى العمليات الجيومورفولوجية **Geomorphic Processes** ودورها فى تعديل شكل الأرض وإظهار أشكال عديدة ترتبط بها.

والنوع الأول من مجالات الدراسة الميدانية يعالج فيه الدارس أو الباحث الشكل المرئى للأرض فى أى وقت، وعندما يدرسه فإنه ينظر إليه كشكل ثابت **Static Form** وذلك رغم تغيره ببطء مع مرور الزمن مثل الحافات الجبلية التى تتعرض للتراجع البطئ للغاية وذلك مع تعرضها لعمليات النحت والتجوية المختلفة ***(King, C., A., 1978, pp: 6-35)***.

وبالنسبة للنوع الثانى من مجالات الدراسة الميدانية، فنجده يتضمن العمليات الجيومورفولوجية والتغيرات الكبرى السريعة نسبياً التى تتعرض لها مناطق وأشكال أرضية عديدة مثلما الحال فى نطاق الشاطئ الأمامى **Fore-Shore** والتى يمكن تتبعها بالقياس من سنة إلى أخرى أو من فترات أقل من ذلك. بل يمكن فى نطاق المد والجزر تتبع تغيرات سريعة جداً تحدث مع تعاقب المد والجزر على المسطحات المدية خلال ٢٤ ساعة أو خلال ١٢ ساعة تبعاً لطبيعة المد والجزر سواء كان يومى **Durnal Tide** أو نصف يومي، ونذكر هنا أن هناك محاولة ناجحة قام بها مجدى تراب لتتبع تغيرات سريعة جداً فى منطقة شاطئ رأس سدر وقام بعمل خريطة جيومورفولوجية موقوتة للنطاق المحصور بين أدنى جزر وأعلى مد كما سيتضح ذلك تفصيلاً فيما بعد.

كذلك من الأشكال التى تتعرض للتغيرات السريعة والتى تحتاج لمتابعة وقياس ميدانى للعملية والشكل، الكثبان الرملية وتغيرات مجارى الأودية التى تتعرض لجريانات سيلية تحدث تغيرات سريعة وواضحة وكذلك النطاقات المناخية لخط تراجع الغطاءات الجليدية **Retreating Ice Sheets** وغيرها. هذا إلى جانب المناطق والأشكال التى تتعرض للتغير بسبب التدخلات البشرية والتى إلى جانب ما يمكن أن يحدثه من تغيرات شاملة للأبعاد والخصائص الجيومورفولوجية للمناطق التى تتعرض لها وكذلك للعديد من الأشكال الأرضية فإن هذه التدخلات قد تظهر أشكالاً ترجع برمتها للإنسان

مما جعل الكثيرين يطلقون عليها أشكال أرضية من صنع الإنسان *Man Made Land Forms* أو ظاهرات بشرية *Human Phenomena*. والأخيرة يمكن تتبعها ميدانياً بالملاحظة الدقيقة والقياس مع المقارنة بالوضع الذى كان سائداً قبل التدخل البشرى فى المنطقة أو الظاهرة، وذلك بالاعتماد على دراسات سابقة للمنطقة أو خرائط تفصيلية أو صور جوية مع تواريخ سابقة حتى تسهل المقارنة وتكون الدراسة ذات جدوى بالنسبة للباحث وبالنسبة لمن يعتمد على قياساته الميدانية ونتائج تلك القياسات.

(ب) المسح الجيومورفولوجي الميدانى :

عادة ما نجد أن الخرائط المنشورة ذات مقاييس الرسم الكبيرة الصالحة للدراسة الميدانية التفصيلية غير متوفرة وإن توفرت فإنها قد لا تتضمن التفصيلات المطلوبة.

فعلى سبيل المثال نجد أن التغيرات الساحلية السريعة خاصة فى منطقة الشاطئ الأمامى لا يسهل متابعتها ميدانياً وبشكل دورى مثلما الحال مع العديد من الملامح المرتبطة بعمليات الترسيب والتى يمكن معرفة تطورها وتحليل أبعادها من خلال عمليات المسح الميدانى المتكرر، فالألسنة الرملية الشاطئية *Coastal Sandy Spits* على سبيل المثال يمكن تتبع تطورها من الصور الجوية ولكن من المهم معرفة الخصائص الحجمية والكيماوية والمعدنية لرواسبها حتى يمكن تفسير هذا التطور وأسباب حدوثه ومن ثم يتطلب الأمر مسحاً جيومورفولوجياً ميدانياً *(King, C., A., 1978, p. 35)*.

وإذا كان عمل الخريطة المورفولوجية لا يحتاج إلى دراسة ميدانية ويمكن لإنجازها الاعتماد على الصور الجوية والخرائط الجيولوجية والكنتورية فى المكتب واستخراج البيانات المطلوبة وتوقيع رموزها على الخريطة المورفولوجية المزمع إنشاؤها، فإن الخريطة الجيومورفولوجية تعتمد أساساً على الدراسة الميدانية بجانب ما وقع من ظاهرات وأشكال أرضية من الصور الجوية والخرائط (محمود عاشور، ١٩٩١، ص٢٥).

وعادة ما يقوم الباحث الميدانى بجمع المعلومات والبيانات عن العديد من الأشكال الأرضية التى تم قياسها ومتابعتها ميدانياً ثم يوقعها بعد ذلك على الصور الجوية أو الخرائط التفصيلية المتاحة لديه.

ومن هذه البيانات أبعاد الظاهرات والأشكال ومساحتها ومعدلات انحدار سطح الأرض وأنواع الرواسب والأخيرة تؤخذ فى شكل عينات تم تجميعها بكيفية محددة ويتم تحليلها معملياً كما يتضح ذلك من الفصل الثامن من الكتاب ويتم تمثيلها بيانياً بطرق إحصائية معروفة كما يتم ميدانياً قياس الرواسب الجلمودية والحصوية من حيث الحجم والشكل ونوع الصخر الذى اشتقت منه ومصدره سواء كان محلياً أو من مناطق بعيدة عن مواضع ترسبه.

وكمـــا هو معروف يمكن للدارس الميدانى أن يقوم بعمله ميدانياً بشكل مكثف إذا ما كانت مـــنطقة الدراســـة محـــدودة المساحة، أما فى حالة ما إذا كانت منطقة الدراسة واسعة فيمكن دراستها مـــن خـــلال تحديـــد أجزاء منها تتركز بها الدراسة تبعاً لنظام العينة والذى يعتمد على مدى التشابه والتـــباين وعـــن أفضـــل أسلوب للمسح الجيومورفولوجى الميدانى فى المناطق الواسعة أن يتبع أسلوب المســـح عـــلى طول محور طولى (قطاع طولى) يبدأ من أعلى السفح وينتهى عند أدنى نقطة فى السفح (للاستزادة راجع عاشور، ١٩٩١).

(جـ) متطلبات الدراسة الميدانية :

جديـــر بالذكـــر أن الدراســـة الميدانـــية لا تبدأ من فراغ بمعنى انه لابد للباحث قبل البدء فى دراسته الميدانية أن يأخذ فى الاعتبار عدة أمور يمكن إيجازها فيما يلى :

١) أن يكـــون عـــلى دراية كاملة بكل الدراسات الجيومورفولوجية والجيولوجية والمناخية والجغرافية بشكل عام التى تعرضت لمنطقة دراسته على بداهة إلمامه بكل خصائص الأشكال الأرضية.

٢) أن تتوفر لديه الخرائط والصور الجوية والمرئيات الفضائية بمقاييس رسم مناسبة.

٣) أن يُؤَمِّن وسائل الوصول والإقامة بمنطقة الدراسة.

٤) أن يكـــون قـــد قـــام بزيارة سريعة للمنطقة لأخذ فكرة عن الوضع الجغرافى للمنطقة بشكل عام ويحدد مجالات القياس والدراسة الميدانية سواء فى مناطق بعينها أو ظاهرات معينة، بمعنى إذا ما كان يهـــدف لدراسة أشكال الإرساب الرملى فى منطقة ما – على سبيل المثال – فإن الدراسة فى هذه الحالـــة تهـــتم بدراسة الأبعاد الجيومورفولوجية لأشكال الإرساب ومتابعة تحركها – راجع الفصل الخـــامس مـــن الكـــتاب – وجمع عينات من الرواسب لتحليلها معملياً إلى جانب التقاط الصور الفوتوغرافية لها.

ويفضل أن يكون تركيز الدارس الميدانى على مجال جيومورفولوجى محدد حتى يكون التركيز بشـــكل كـــاف وذلك لأن لكل شكل جيومورفولوجى أو لكل عملية جيومورفولوجية وسائل قياسها ومتابعة تغيرها التى تختلف عن غيرها، فعلى سبيل المثال دراسة السبخات ميدانياً تختلف تماماً عن دراسة المسطحات المدية أو الشواطئ الرملية كما سوف يتضح تفصيلاً خلال صفحات الكتاب.

٥) أن يتوفر لدى الباحث بقدر الإمكان أجهزة القياس الميدانى وأدوات الدراسة الميدانية المعروفة مثل البوصـــلة والشـــواخص والكاميرا والشاكوش الجيولوجى وأبنى ليفل لقياس الانحدارات وأكياس لجمع عينات الرواسب وغيرها من الأجهزة الضرورية لإجراء الدراسة الميدانية والتى سوف يشار إليها فى أخر هذا الفصل.

٦) أن يكون للدارس الميدانى القدرة على رسم الكروكيات فى الميدان بحيث يمكن أن يسجل عليها العديد مـــن الملامح الجيومورفولوجية التى يراها سواء كانت خطية أو مساحية وذلك للمساعدة فى عمليات التفســير حيــث تعد فى كثير من الأحوال أفضل من التصوير الفوتوغرافى من حيث إبرازها لقدرات الدارس فى توقيع ظاهرة كبيرة فى موضوع محدود إلى جانب أنها أقل تكلفة وأسرع فى إنجازها.

وقـــد حـــدد التركمانى (٢٠٠٤) الأسس التى وضعها *James, 1988* لتصميم الإطار العام الكروكى الميدانى *Field Sketching* والتى يمكن إنجازها على النحو التالى :

وسط الهدف (الشكل المراد رسمه أو المنطقة المراد رسمها) ثم الركن الأيمن وهو المساحة الأرضية التى تقع على يمين الباحث الميدانى ثم الركن الأيسر وهو المسافة الواقعة على يسار الراصد، وقد يكون الهدف أشكال أرضية أو صخور أو صور بنائية وغيرها (جودة التركمانى، ٢٠٠٤، ص١٠٣).

٧) أن يكـــون الـــدارس المـــيدانى على دراية كافية بإمكانية التصوير الفوتوغرافى حيث أن للصور الفوتوغرافـــية دورهـــا الكـــبير فى نقـــل الشـــكل الأراضى كاملاً ومجسماً فى كثير من الأحوال مـــع إمكانـــية القياس الفعلى للشكل من خلال وضع علامات معروفة الأبعاد بجوار الشكل المراد تصـــويره كـــأن توضـــع قامة مدرجة أمام جرف منخفض أو أمام كثيب أو أمام فتحة أو كهف أو بجـــوار مســـلة بحرية وغير ذلك من وسائل تمكن الباحث من القياس من الصورة الفوتوغرافية خاصـــة إذا ما تعزر القياس ميدانياً مثلما الحال فى قطار الأمواج (اتجاه قدوم سلسلة من الأمواج) وانحراف اتجاهها مع اقترابها من خط الشاطئ وغير ذلك.

ونـــادراً مـــا لا تتضمن دراسة جيومورفولوجية لأى منطقة أو ظاهرة صوراً فوتوغرافية والتى فى حـــد ذاتهـــا تعتـــبر وثـــائق هامة يمكن الرجوع إليها عند الحاجة لمعرفة تفاصيل معينة للمنطقة التى تم دراستها ميدانياً.

فالصـــورة الفوتوغرافية عبارة عن نموذج مصغر ممثل للوضع الطبيعى للظاهرة أياً كانت والتى يمكننا بشكل ما أن عرف أبعادها (أى أبعاد الشكل أو الظاهرة) كما رأينا، كذلك يمكن عمل بانوراما لظاهـــرة جيومورفولوجـــية مثل سلسلة تلية أو ساحل بحيرة بحيث تعطينا تصوراً أكثر شمولية يمكن من خلالة المقارنة والوضع النسبى للظاهرة.

كذلـــك يمكن من خلال الصور الفوتوغرافية تتبع تغير أبعاد ظاهرة جغرافية مثل الكثبان أو قطاع ساحلى أو الكثبان الرملية (جودة التركمانى، ٢٠٠٣، ص١٠٨).

ثانياً : التجارب والعمل المعملى :

إن استخدام التجارب فى المعمل ذات تأثير كبير فى تفهم العمليات الجيومورفولوجية المختلفة خاصة فيما يرتبط بالتجوية الفيزيائية *Physical Weathering* وكذلك العمليات الأخرى التى يصعب كثيراً إمكانية تفهمها ميدانياً وأحياناً يستحيل قياسها مثل عملية انتقال الطاقة من الرياح للماء وتولد الأمواج فى منطقة تولد الأمواج *Wave Generation Zone* وكذلك انكسار الأمواج *Wave Refraction* (انحراف اتجاهها) عند اقترابها من خط الشاطئ ومعدلات فقد طاقة الأمواج خلال رحيلها وغير ذلك من عمليات يصعب قياسها ميدانياً، ومن ثم يتم عمل نماذج تجريبية فى المعامل يمكن من خلالها تفهمها ومضاهاتها مع ما يتم فى الواقع كما سيتضح فى صفحات هذا الكتاب.

وقد تطورت فى الفترة الأخيرة العديد من التجارب الخاصة بالعمليات الجيومورفولوجية المختلفة بعضها تجارب ميدانية ومعظمها تجارب معملية لتأكيد الكثير من التفسيرات والتحليلات الخاصة بالعمليات الجيومورفولوجية فى الطبيعة وآثارها فى تشكيل سطح الأرض خاصة تلك العمليات التى يصعب قياسها فى الطبيعة (الميدان) ومن هذه التجارب ما يرتبط بالتجوية مثل قياس معدلات التجوية بطريقة الأقراص الصخرية والتى تفسر وتبرز أهمية عمليات الإذابة والنحت الكيماوى للكهوف والأرصفة الساحلية وغيرها كما يتضح تفصيلاً فى الفصل الخاص بالتجوية فى هذا الكتاب. ومن التجارب المعملية الخاصة بالتجوية ما قام به كل من *Nepper and Chriestensen, 1965* من تجربة معملية خاصة بالانتفاخ بفعل الرطوبة *Moisture*، وتجربة أخرى بسيطة لملاحظة كيفية تلاحم الحبيبات الصخرية وكيفية قياس المسام وعلاقته بحجم الجزيئات الصخرية وتجربة خاصة بقياس معدلات تدفق الماء فى الرواسب وما يحتجز منه داخل المسام.

بالنسبة للعمليات الجيومورفولوجية الأخرى، هناك تجارب عديدة أثبتت نجاحها وأكدت الكثير من الحقائق المستقاة من الميدان مثل التجارب المعملية التى أثبتت أن معدل نقل الرمال يتناسب تناسباً طردياً مع معدل سرعة الرياح بالإضافة إلى تأثره بعوامل أخرى مثل حجم الحبيبات وكثافتها النوعية وكثافة الهواء.

كذلك تمت دراسات معملية عديدة على يد *Belly, 1961* خاصة بعلاقة الرياح بالرمال المتحركة وكذلك التجارب الخاصة بمدى تأثير الرطوبة على سرعة الرياح المطلوبة لتحريك حبيبات الرمال وهو الذى أبتكر "نفق الرياح" وهو نموذج تجريبى درس من خلاله العديد من الديناميكيات والخاصة بالرياح وتأثيرها على الأشكال الرملية كما يتضح ذلك من الفصل الرابع من هذا الكتاب.

كذلك توجد تجارب ودراسات معملية عديدة خاصة بالتعرية النهرية منها ما هو مذكور فى هذا الكتاب مثل التجربة الخاصة بالتعرف على كيفية تطور الفروع النهرية. وتلك الخاصة بقياس سرعة النهر معملياً كذلك التجربة الخاصة باختلاف معدلات ترسب الجزئيات الصخرية فى مياه النهر – باتجاه القاع – حسب أحجامها وغير ذلك.

وفى التعرية الساحلية يعد كل من *Frantz Gerstner* من الرواد الأوائل فى عمل تجارب وقياسات خاصة بالأمواج وهما اللذان ابتكرا ما يعرف بصهريج الأمواج الذى قامت خلالة تجارب عديدة خاصة بانحراف الأمواج وتشععها وتولدها وغير ذلك من تغيرات تؤثر بدورها على درجة فعاليتها فى تشكيل المناطق الساحلية التى تتعرض لها.

وقد أظهرت الدراسات والتجارب التى تمت فى المعامل أن هناك علاقة خطية بين عمق الإثارة للرواسب وارتفاع الموجة.

ومن التجارب المعملية العديدة تلك التى تمت على نماذج للشاطئ لدراسة أثر الأمواج والتيارات البحرية على إعادة تشكيلها والتأثير على ملامحها وغير ذلك من أثاره.

ولا يقتصر العمل المعملى على التجارب الخاصة بمتابعة وقياس العمليات الجيومورفولوجية المختلفة وتأثيراتها الجيومورفولوجية ولكن هناك دراسات معملية هامة أخرى تتمثل فى تحليل الرواسب حجمياً وكيماوياً ومعدنياً وكذلك تحليلها ميكروسكوبياً وذلك لتفسير الكثير من الخصائص التى تميز المناطق التى أخذت منها تلك العينات إلى جانب الإفادة فى تحديد أصل ونشأة المنطقة محل الدراسة ومعرفة مصادر هذه الرواسب وأثر العمليات الجيومورفولوجية المختلفة فى نشأتها وغير ذلك من تفسيرات هامة بالنسبة للجيومورفولوجى.

والواقع أن تحليل الخرائط الطوبوغرافية والصور الجوية والقياسات المورفومترية للأشكال الأرضية المختلفة وتمثيلها كارتوجرافية يمكن أن يعتبر عملاً معملياً مكملاً للدراسات والتجارب سابقة الذكر سواء كانت ميدانية أو معملية ومن ثم فإن هذا الكتاب ومن هذا المنطلق يتضمن فصله الأخير التحليل المورفومترى لأشكال سطح الأرض المختلفة.

ثالثاً : الأجهزة والأدوات الرئيسية اللازمة للعمل الميداني :

مـن المهـم للـدارس الميداني أن يتوفر لدية أدوات معينة وأجهزة مختلفة، تساعد في إنجاز عمله في الميدان والتي بدونها يكون عمله عبارة عن ملاحظات عابرة لا يعتد بها كثيراً في المسح الجيومورفولوجي فبجانب الخـرائط بمقاييسها وأنواعها المختلفة خاصة الطوبوغرافية كبيرة المقياس مثل خرائط ١ : ٢٥٠٠٠ و ١ : ٥٠٠٠٠ و ١ : ٢٥٠٠٠٠ وغيرها، وكذلك الصور الجوية التي تتاح للـدارس والمطلوبة فعلياً للمساعدة في إنجاز الدراسة والخرائط الجيولوجية المطلوبة لتحديد أنواع الصخور والتراكيب الجيولوجية والرواسب السطحية لمنطقة الدراسة. يجب عليه التزود بعدد من الأدوات والأجهزة الخاصة بالقياس الميداني والتسجيل وجمع العينات وغيرها والتي يمكن أن نشير فيما يلي إلى أهمها :

أ) أجهزة وأدوات القياس الميداني :

يتمثل أهمها فيما يلي :

١) جهاز أبني ليفل : شكل (١)

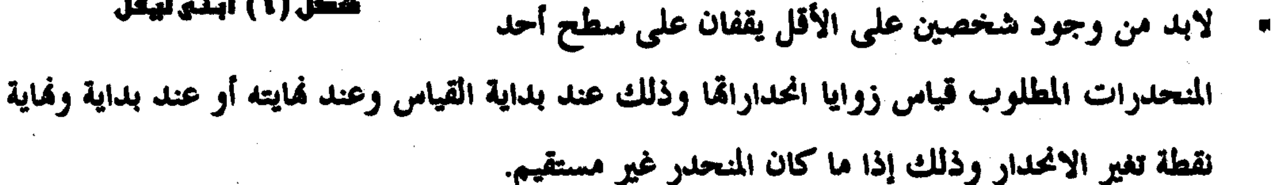
وهـو جهـاز يستخدم في قياس زوايا الانحدار لقطاعات المنحدرات وانحدارات سطح الأرض بشكل عام.



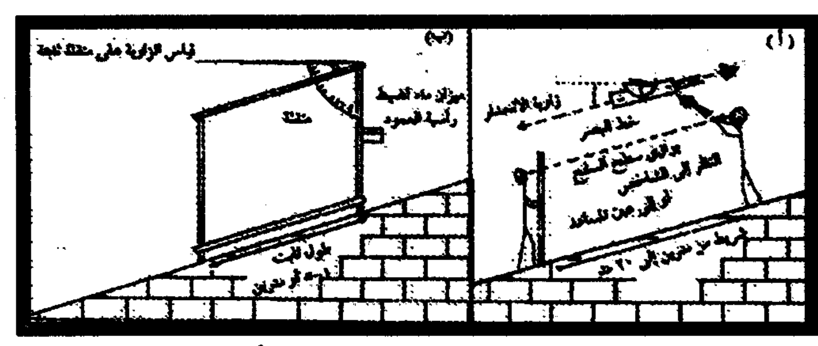
شكل (١) أبني ليفل



وتتمثل خطوات استخدامه على النحو التالي :



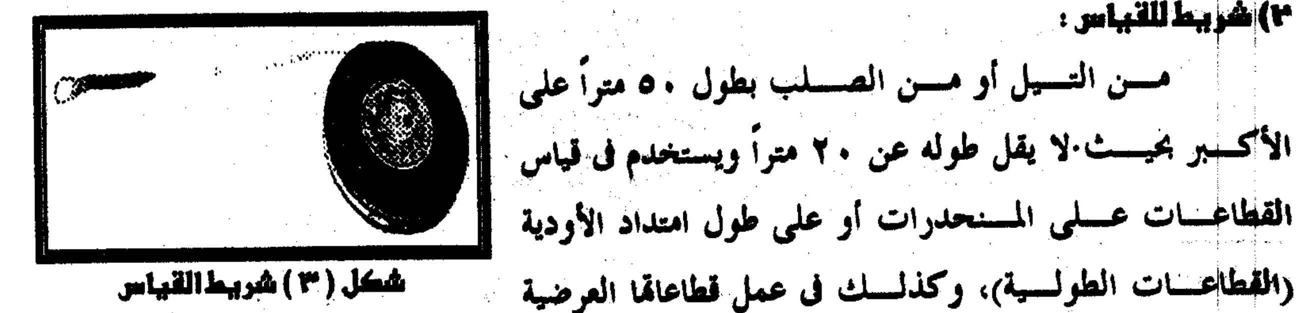
- لابد من وجود شخصين على الأقل يقفان على سطح أحد المنحدرات المطلوب قياس زوايا انحدارها وذلك عند بداية القياس وعند نهايته أو عند بداية ونهاية نقطة تغير الانحدار وذلك إذا ما كان المنحدر غير مستقيم.
- ينظر الشخص الحامل للجهاز إلى الشخص الأخر من العدسة العينية ويبدأ في تحريك ميزان المياه بواسطة مسمار التحريك والتثبيت، بحيث يصبح الشخصان والجهاز ونقطة المياه والخط الذي يظهر في منتصف العدسة الشيئية عند مستوى واحد شكل (٢).



شكل (٢) القياس باستخدام جهاز أبني ليفل

- يـتم تسـجيل الدرجـة المسجلة على المنقلة بعد أن يتم تثبيت مسمار التحريك والتثبيت ثم يتم تدوينها فى نوتة الحقل.
- توجـد أجهزة قياس لزوايا الانحدار أخرى، منها ما هو بسيط مثل جهاز الكلينوميتر *Clinometer* والـذى يقيس بسهولة ميل الطبقات، وكذلك بوصلة برنتون *Brunton Compass* والتى تتضمن ميزان لقياس الميل والانحدار وهناك أجهزة أخرى أكثر تركيباً وتعقيداً تتطلبها القياسات بالغة الدقة.

٢) شريط للقياس :

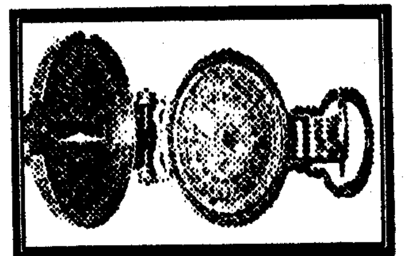


شكل (٣) شريط القياس

مـن التـيل أو مـن الصـلب بطول ٥٠ متراً على الأكـبر بحيـث لا يقل طوله عن ٢٠ متراً ويستخدم فى قياس القطاعـات عـلى المـنحدرات أو على طول امتداد الأودية (القطاعـات الطولـية)، وكذلـك فى عمل قطاعاتها العرضية وفى القياسات الخاصة بكل الأشكال الأرضية المتنوعة وذلك مع أدوات القياس الأساسية الأخرى مثل أبنى ليفل *Abney Level* شكل (٣).

٣) البوصلة : *Compass*

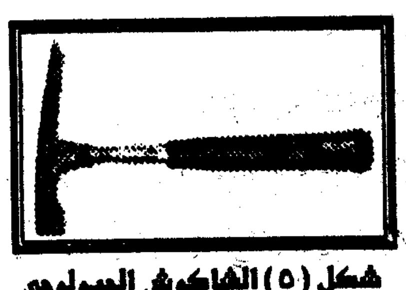
وتتعد أنواعها، فمنها البوصلة المنشورية *Prismatic Compass* وتستخدم فى تحديد الاتجاهات شـكل (٤) وتوجـيه الخـريطة بالمـيزان وتحديد موضوع القياس وكذلـك فى قـياس ميل الطبقات الصخرية وتحديد بعض الانحرافات (أحمـد سـالم، ١٩٩٩، ص٢٧)، ومن البوصلات متعددة الأغراض بوصـلة برنـتون والتى تستخدم كذلك فى تعين اتجاه ميل الطبقات *Dip of Strata* واتجاه مضربها.



شكل (٤) البوصلة المنشورية

٤) المطرقة (الشاكوش) الجيولوجية :

وتسـتخدم فى تكسير الصخور والحصول على عينات منها شكل (٥) كما تستخدم معها فأس صغيرة للحصول على عينات من المفتـتات والرواسب السطحية، ويمكن استخدام المطرقة الجيولوجية *Geological Hammer* فى فحص درجة تجوية الصخور فى الميدان على النحو الموضح فى الفصل الخاص بالتجوية، لوحة (١).

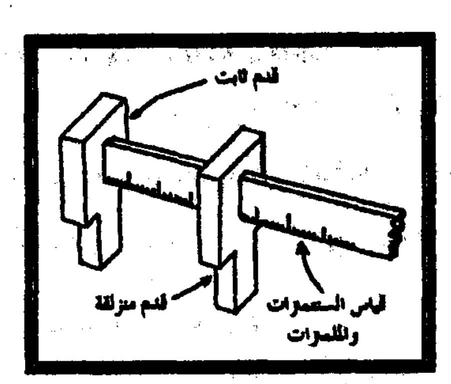


شكل (٥) الشاكوش الجيولوجى



لوحة (١) استخدام الشاكوش الجيولوجى
فى الحصول على عينة صخرية

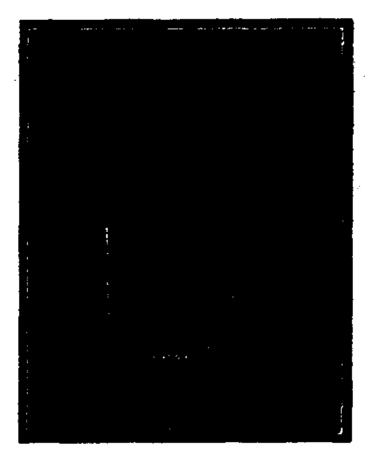
٥) مقياس أبعاد الحبيبات الخشنة :



شكل (٦) القدمة المستخدمة
فى قياس الحبيبات الصخرية

ويعرف "بالقدمة" وهى عبارة عن زوج من الورنيات (مقياس متحرك) على مسطرة مدرجة بالسنتيمترات والمليمترات شكل (٦) حيث يمكن قياس أكبر طول للحصوة (ل)، وأكبر عرض (ع) فى الاتجاه متباعد على الطول، وأكبر سمك (س) وبعد ذلك يمكن حساب معامل الفرطحة وكذلك معامل الاستدارة للحبيبة (للاستزادة راجع جودة حسنين جودة وآخرون، ١٩٩١، ص ص ٢٢٦-٢٢٩).

٦) جهاز الـ *Global Positioning System* : *G.P.S*



لوحة (٢) جهاز الـ G.P.S.

وهو نظام حديث لتحديد المواقع عن طريق استخدام أجهزة استقبال يمكنها الاتصال بالأقمار الصناعية لوحة (٢)، وهو من أكثر الأنظمة نجاحاً حتى الآن وهو النظام الذى تدعمه إدارة الدفاع الأمريكية *(DOD)* والذى يسمى *(G.P.S.) Navstar Global Positioning*، والذى عمل بطاقته الكاملة فى سنة ١٩٩٤ ويتكون من ٢٤ قمراً سيارة منها ٢١ عاملة وثلاثة احتياطية ويمكن لأى موقع على الأرض أن يُرى من أربع إلى سبع أقمار فى أى وقت، وتقع هذه الأقمار على ارتفاع ٢٠٠٠٠كم فوق سطح الأرض وتتم دورتها فى ١٢ساعة (محمود عاشور، ١٩٩٨، ص ص١٧١-١٧٢).

هذا وتتوقف دقة أجهزة *(G.P.S.)* على عوامل يأتى فى مقدمتها مستوى الخدمة الذى يدعمه جهاز الأمن العسكرى للنظام، وكذلك بنوعية الجهاز وعدد الأجهزة وعدد الأقمار التى يمكن الاتصال بها والوقت الذى يتم فيه عملية الرصد.

ب) أجهزة وأدوات للملاحظة والتسجيل والمساعدة فى القياس :

١) منظار (تليسكوب) مقرب :

يستخدم عادة فى المناطق الواسعة للمساعدة فى ملاحظة ورؤية بعض الأشكال والملامح البعيدة والتى يصعب الوصول إليها مثل الملامح الدقيقة بالمواضع الداخلية من السبخات مثل التشققات الطينية والتجمعات النباتية والنبكات وغيرها، وكذلك فى مناطق الشاطئ القريب والملامح والأشكال البارزة منه مثل الجزيرات الحواجز المرجانية وغيرها.

٢) عدسة مكبرة :

لإمكانية روية بعض الملامح الميكروسكوب التى يصعب رويتها وملاحظتها بالعين المجردة مثل البللورات الصخرية وشكل الحبيبات (النسيج الصخرى) والتشققات الدقيقة *Micro Cracks* والفواصل الدقيقة وغيرها.

٣) حمض هيدروليك مخفف :

داخل زجاجة وذلك لاختبار بعض أنواع الصخور التى من الصعب التعرف عليها بالرؤية المجردة حيث يمكن باستخدام حمض الهيدروليك المخفف مع العدسة المكبرة معرفة الكثير من أنواع الصخور (صابر أمين دسوقى، بدون تاريخ، ص٣٨).

٤) أكياس من القماش :

لأخذ العينات من الصخور والرواسب السطحية وحفظها لتحليلها معملياً، ولهذه الأكياس مواصفات خاصة من حيث أحجامها والتى عادة ما تكون ١٥× ٢٥سم مع فتحة علوية يجب غلقها بإحكام خاصة فى حالة حفظ المواد الرسوبية السطحية (المرجع السابق، ص٣٨).

٥) نوتة الحقل مع الأقلام بأنواع مختلفة :

وهى ذات أهمية قصوى بالنسبة للدارس فى الميدان، حيث يتم تسجيل جميع قياساته وملاحظاته ونتائج تجاربه وقياساته الميدانية، وعادة ما تكون بحجم مناسب ولا يشترط أن تكون بمواصفات محددة.

٦) كاميرا للتصوير :

وكلما كانت من الأنواع الجيدة كلما كانت أكثر فائدة وأكثر دقة فى تسجيل الأشكال والأرضية المختلفة وبطبيعة الحال لخبرة الدارس فى التقاط الصور وتحديد أنسب الأوقات للتصوير خلال ساعات النهار دور كبير فى ذلك.

بجانب الأجهزة البسيطة سابقة الذكر فإن على الدارس فى الميدان أن يحمل معه حقيبة تحتوى علىَ ما يمكن حمله من طعام وشراب ومستلزمات شخصية ضرورية له مع تصريح من الجهات المسئولة بتحديد مهمته حتى يسهل له التنقل والقياس والتقاط الصور الفوتوغرافية وغيرها من مستلزمات دراسته بجانب تأمينه لأماكن المبيت والتنقل.

هذا بالإضافة إلى وجود دليل من قاطنى المنطقة التى يتم دراستها خاصة إذا كانت مناطق جبلية غير مأهولة بالسكان كالصحارى المصرية.

الفصل الثانى

التجوية من القياسات والتجارب الميدانية المعملية

أولاً : مؤشرات التجوية ومعدلاتها.

ثانياً : تجارب معملية فى التجوية الحرارية.

ثالثاً: ملاحظات وقياسات هامة للملامح الأرضية المرتبطة بالتجوية

مقدمـة .

كمـا نعرف فإن التجوية عبارة عن عمليات تفكك ميكانيكى (فيزيائى) أو تغير فى المكونات والخصائص الكيماوية للصخور القريبة من سطح الأرض.

ورغم ما يميز الصخور المجواة – فيزيائياً وكيميائياً – من استقرار فى المواضع إلا أن هناك نوع مـن الإزاحـة المحدودة للمفتتات التى تمت تجويتها. حيث أن كل مكون من مكونات الصخر يتعرض إلى عمليات منفردة مثل الانتفاش فى حالة تشبع التكوينات الطينية أو الطفلية بالمياه وكذلك ما يتعرض له الصخر من نمو لبلوراته بالتموء وغير ذلك من عمليات.

ورغـم وجـود نوعين معروفين من التجوية وهما التجوية الفيزيائية والتجوية الكيماوية فإنه فى الواقـع يصعب الفصل بين العمليتين الفيزيائية والكيماوية، فرغم أنهما لا يعملان فى أغلب الأحيان مـع بعضهما إلا أن كل واحدة تدعم الأخرى، فعلى سبيل المثال عندما يتعرض الصخر للتشقق بفعل الـتجوية الفيزيائـية بمفردها نجد أن تلك الشقوق تعد بمثابة مسارات يسيره لمياه الأمطار التى تتخلل الصـخر لـتقوم بدورها فى التحلل الكيماوى للمعادن الصخرية خاصة على جوانبها وحدودها خاصة عـلى المـنحدرات العليا للمرتفعات حيث تسود التجوية الفيزيائية (الطبيعية) بفعل الصقيع أو التمدد والانكمـاش الحـرارى مكونـة شقوقاً أو تجويفات تمثل بدورها مواضع ضعف صخرية تقوم التجوية الكـيماوية بعـد ذلك بتوسيعها متضافرة مع التجوية الفيزيائية سابقة الذكر وهنا كذلك يقوم النبات من خلال مجموعه الجذرى بعملية تجوية حيوية.

ولعل النمو البللورى للأملاح ***Salt Crystalization*** وتموء بللورات الملح داخل الشقوق الصخرية وحـدوث تقشر للصخر ***Exfoliation*** يعد مثالاً واضحاً على تضافر عمليتى التجوية الفيزيائية (الميكانيكية) والكيماوية فى القيام بدور مشترك لتفكك وتحلل الصخر (محمد صبرى محسوب، ٢٠٠١، ص٧٦).

وعملـيات الـتجوية بأنواعهـا المختلفة تتأثر بعوامل داخلية وعوامل خارجية؛ ترتبط الأولى بـتكوين وتركـيب الصخر فالمعادن المكونة للصخر تتحكم فى نمط ودرجة فاعلية التجوية الكيماوية، مثالنا فى ذلك أن الكالسيت يتأثر بالتكربن والفلسبار يتغير بفعل التحلل المائى، كذلك نجد أن للنسيج الصخرى ***Texture*** دورة الواضح، فالصخور المكونة من حبيبات ناعمة تتجوى بمعدلات أسرع مقارنة بالصخور ذات الحبيبات الخشنة وذلك لقلة مواضع الضعف وخطوطه فى الأخيرة مقارنة بالأولى.

كمـا أن وجـود الفواصـل ***Joints*** والأسطح الطبقية ***Bedding Planes*** والشقوق الدقيقة ***Micro Fissures*** تعـد مـن مواضع الضعف التى تتخيرها عمليات التجوية لتقوم بدورها على عكس الحـال مع الصخور الكتلية المتماسكة. أما العوامل الخارجية المؤثرة فى عمليات التجوية فتتمثل أساساً

فى العناصر المناخية المختلفة والنبات، يتحكم الأول فى إمكانية توفر المياه ودرجة حرارة الأسطح الصخرية والفوارق الحرارية اليومية والسنوية فى أية منطقة، فالماء أساسى فى معظم عمليات التجوية بنوعيها ومن ثم فإن التجوية ليست ذات شأن كبير فى المناطق الجافة ونتاجها يقتصر عادة على مفتتات صخرية محدودة أو تشققات ناجمة أساساً عن المدى الحرارى المتسع (*).

أما بالنسبة للحرارة فإن هناك علاقة طردية واضحة بين ارتفاع درجة الحرارة ومعدلات التفاعل الكيماوى للمواد الصخرية، فيقدر بأن زيادة درجة الحرارة عشر درجات مئوية تزيد معدلات التفاعل الكيماوى للمواد الصخرية بما يتراوح بين مرتين إلى ثلاث مرات *(Thomas, M., F., 1974)*، كذلك نجد أن الفارق الحرارى اليومى والسنوى يعد من الضوابط الهامة لبعض أنواع التجوية الفيزيائية خاصة فيما يتعلق بعملية التفكك الصخرى الحرارى فى المناطق ذات المناخ القارى المتطرف مثلما الحال فى صحارى مصر.

ويقوم النبات بدور كبير فى عمليات التجوية الفيزيائية وذلك من خلال امتداد جذوره وانتشارها داخل الشقوق مما يؤدى إلى زيادة اتساعها وتفكك الصخر كما يتضح ذلك من الصورة الفوتوغرافية (٣).



لوحة (٣) أثر النباتات الشجرية على تجوية الصخور

(*) يقدر بأن معدل تراجع الأوجه الصخرية فى المناطق المدارية الجافة لا يزيد على نصف ملليمتر كل عشرة آلاف سنة، بينما يصل فى جبال الألب السويسرية وفى هضبة البرازيل ما بين ملليمتر واحد وملليمترين فى السنة (Clark, M., and Small, J., p.15)، وهذا يدل بوضوح على أهمية المياه لإتمام عمليات التجوية وزيادة فعاليتها.

أولاً : مؤشرات التجوية ومعدلاتها :

توجد العديد من المؤشرات التى تدل على درجات تجوية الصخور المختلفة والتى يمكن ملاحظتها فى الميدان وتتبع معدلاتها بقياسات كمية وشبة كمية *Semi Quantitative* ومرئية.

(أ) ومن هذه المقاييس المقياس الخاص بدرجات التجوية للأغراض الهندسية خاصة فى ما يتعلق أساساً بالجرانيت والذى وضعه ديرمان *Dearman* على النحو التالى :

جدول (١) مقياس درجات التجوية للأغراض الهندسية (أساساً من صخر الجرانيت)

م	المصطلح	الدرجة	الوصف
١	غير مجوى *Fresh*	١	لا توجد علامات مرئية للتجوية وربما يوجد تغير بسيط فى لون أسطح الانفصال
٢	مجوى تجوية خفيفة	٢	تختفى ألوان بعض المعادن وإن لم يضعف الصخر بشيء ملحوظ.
٣	مجوى تجوية متوسطة	٣	يتغير لون المعادن الصخرية مع ضعف لبعض المكونات الصخرية.
٤	مجوى تجوية شديدة	٤	تتفكك أو تتحلل بعض المعادن الصخرية إلى تربة مع ظهور نويات صخرية وسط الرواسب المفككة مع ظهور نويات ضعيفة وتغير اللون.
٥	تجوية تامة	٥	تفكك أو تحلل كلى للصخر.
٦	تربة متبقية	٦	تربة متبقية نتجت عن تحول وتدمير كامل للبنية وحدوث تغير كبير فى الحجم، والتربة مسطرة لن تتعرض للنقل.

After Dearman, et al.

كما طور أوليير *Ollier* مقياساً خاصاً للهشاشة *Friability* وذلك فى عام ١٩٦٩، ويتمثل هذا المقياس الخاص بملاحظة درجات تجوية الصخر على النحو التالى :

١) صخر طازج *Fresh Rock*، عندما يطرق عليه بالشاكوش فإن الأخير يرتد بوضوح.
٢) يكسر بسهولة عندما يطرق بالشاكوش *Hammer*.
٣) يمكن أن يحطم الصخر بركلة بالقدم وليس باليد.
٤) يمكن أن يحطم الصخر باليد تحطماً جزئياً ولكنه لا يتفكك فى الماء.
٥) صخر لين *Soft Rock* يتفكك عند غمسه فى الماء.

ومن وسائل قياس معدل تجوية الصخور ما قام به كل من *Cook and Mason, 1973*، ويتمثل القياس هنا ببساطة فى تحديد درجة التجوية من خلال عدد الطرقات المستغرقة فى دق مثقاب *Punch* من الصلب فى الصخر فى مستويات مختلفة بحيث يتم حساب عدد الطرقات والتى تعنى زيادتها زيادة تماسك الصخر وعدم تعرضه للتجوية والعكس مع قلة عدد الطرقات، وقد استخداما فى تجربتهما مثقاباً "بقمة مسطحة" يدق أفقياً فى الصخر الأساس.

(ب) مؤشر مظاهر التجوية فى الصخور البركانية لميلتون :

وضــع ميلــتون *Melton* مؤشــراً خماســياً يوضــح ترتيب مظاهر تجوية الصخور البركانية والجرانيتية(*) *(Melton, 1965, p. 717)*. ويتمثل على النحو التالى :

الرتبـــة	خصائص الصخر ومظاهرة المرئية
١	ظهور شظايا صخرية لا يظهر عنيها التأكسد على السطح مع عدم تحول مرئى أو وجود ضعف فى الصخر.
٢	ســطح الشــظية ملــون (مصبوغ) أو منقر *Pitted* ولكن لا يحدث تغير فى الداخل (داخل الشظية).
٣	تغير واحد للشظية مع ظهور قشرة تجوية سميكة *Weathering Rind* وتغير لون الصخر بالداخل ويمكن تكسيرها بعد بعدة طرقات بالشاكوش.
٤	تتحلل الشظية جزئياً وإن كانت مازالت متماسكة ويمكن تكسيرها باليد أو مع طرقها طرقاً خفيفاً بالشاكوش.
٥	تحلل كلي للشظية بحيث لا يمكنها مقاومة لمسها باليد أو ركلها بالقدم.

Goudi, 1981.

وقــد قامــت محــاولات لعمل تقدير كمى لمدى التغير الذى يحدث للصخر بفعل التجوية، علي سبيل المثال فقد طور *Ollier, 1956* معامل التجوية *Cofficent K_1* يعتمد على النسبة بين سرعات الموجــات فوق الصوتية *Ultra Sound Wave* فى الصخر غير المجوى والصخر المجوى وذلك من خلال المعادلة التالية.

$$K_1 = (Vo\ Vw)\ Vo$$

حيث أن :

Vo = سرعة الموجات فوق الصوتية فى الصخر غير المجوى.

Vw = سرعة الموجات فوق الصوتية فى الصخر المجوى.

(*) لا ينطبق هذا المقياس على الأنواع الأخرى من الصخور.

(جـ) طرق أخرى لقياس معدلات التجوية فى الميدان :

١) تجربة بيرس ***Bearce, 1976*** **:**

تمثل واحدة من التجارب الحقلية التى يحاول من خلالها تحديد معدلات التخفيض التى يتعرض لها السطح الصخرى (صخر الأساس بفعل عمليات التجوية المختلفة).

وتتمثل فى قيامه بتحديد مساحات تتراوح ما بين ٨–٢٥م٢ على صخر الأساس ثم حددها بشكل يمنع أو تقلل بقدر الإمكان أى مواد تأتى إليها من المناطق المجاورة بواسطة المطر أو العكس. ثم قام بتنظيف السطح داخل هذه المساحات المحددة والمختارة بواسطة فرشاة خشنة، وبعد فترة زمنية مناسبة جمع المواد التى أمكن إزالتها من السطح إما بفرشاة أو بالالتقاط اليدوى أو باستخدام مكنسة ***(Goudi, 1988, p.143)***.

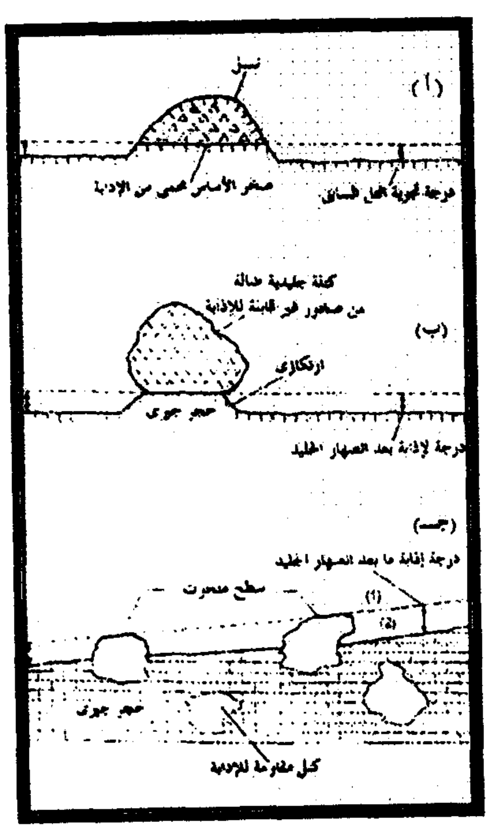
وجدير بالذكر أن بعض الباحثين قد ركز على تطور مقاطع التجوية ودرجتها المرتبطة بظاهرات جيومورفولوجية مثل الطفوح البركانية والكثبان والركامات وغيرها إلى جانب الظاهرات البشرية المحدد وعمرها مثل الحفر ***Excavations*** والتماثيل والنصب التذكارية والأسوار الصخرية وشواهد المقابر ***Tomb Stones*** وغيرها.

ويوضح شكل (٧) ثلاث طرق تم استخدامها :

(أ) يوضح رابية ألرية علمت على حماية ما تحتها من عمليات الإذابة بينما تم تخفيض السطح المحيط بها.

(ب) كتلة صخرية ضالة تقوم بنفس الدور فى حماية ما تحتها مقارنةً بمستوى السطح المحيط بها.

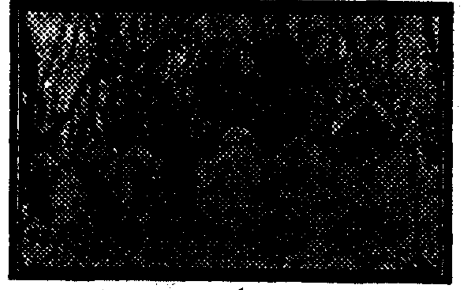
(جـ) كتل صلبة (غير قابلة للإذابة) تبرز وسط سطح تعرض للنحت الجليدى، وتشبه فى ذلك الأسطح التى تبرز فوقها كتل الجلاميد الصوانية التى كانت مدفونة فى طبقة جيرية قابلة للإذابة مثلما الحال فى أجزاء من الهضبة الجيرية الوسطى بالصحراء الغربية فى مصر والتى تمكن تقدير معدلات الإذابة التى تعرضت لها المنطقة خلال فترة المطر البليستوسيني حتى الوقت الحاضر على النحو المناظر لما فى الشكل (٧ جـ)



شكل (٧) طرق مختلفة توضح أثر التجوية على المدى البعيد

وهناك طرق أخرى استخدمها *Pigott, 1965* وذلك باستخدامه البقايا غير القابلة للإذابة والمتراكمة فوق صخر جيرى كمؤشر للكمية الكلية للصخر الصلب الذى تمت إذابته والتى كان يحتوى على تلك البقايا معتمداً أساساً على معرفة عُمر السطح الجيرى وخصائص البقايا غير المذابة *Insoluble Residue*.

وهـــناك طـــرق لتحديد ومتابعة معدلات التجوية وقابلية الصخور المختلفة للتجوية بأنواعها المخـــتلفة طبقـــت على اللوحات الصخرية والنصب التذكارية وغيرها، شريطة أن يكون معروفاً عمر هذه اللوحات وبداية حفر الكتابة لها.


لوحة (٤) تجوية أوجه شواهد المقابر وإزالة الكتابة عليها

فقـــد اســـتخدم *Mathias, 1956* على سبيل المثال أعماق الكتابات (النقوش) المحفورة *Depth of Inscriptions* فى صخور شواهد المقابـــر فى بورتلانـــد بولاية كونكتكت، وقد سبقه فى استخدام تلك الوسيلة *Geikie* فى فترة مبكرة وذلك فى عام ١٨٨٠.

(د) كذلك استخدم رانز *Rhans, 1971* طريقة أقل دقة لتحديد درجة التجوية من خلال تقسيمه لصخور المقابر (شواهد المقابر) إلى ستة أقسام وذلك على النحو التالى :

١) غير مجواه.
٢) مجواه تجوية ضعيفة.
٣) تجوية معتدلة حيث تظهر خشونة فى السطح مع إمكانية قراءة الحروف.
٤) تجوية شديدة وفيها يصعب قراءة الحروف.
٥) تجوية شديدة جداً وفيها الحروف يصعب تمييزها.
٦) تجوية شديدة للغاية واختفاء الحروف.

ويوضح الجدول التالى (٣) تجوية شواهد المقابر وفقاً لـ *Rhans, 1971*

نوع الصخر	عدد القياسات	معدل العمر بالسنوات	معدل درجة التجوية	معدل التجوية كل ١٥٥ سنة
الحجر الرملى	٦٥٠	١٧٩	٤,٤٢	٢,٩٢
الرخام	٧٣٨	١٢٦	٣,٣٠	٢,٨٢
الشست	٧٦٥	١٦١	٣,٣٨	٢,٤٨
الجرانيت	٢٦٢	١٢٣	١,٤٠	١,٣٣

From Rhans, 1971.

وقـــد جمع بيانات عن عمر المقابر وحصل على معدل درجة التجوية لكل ١٠٠ سنة فى كل نوع صخرى كما اتضح من الجدول السابق (٢).

(هـ) قياس معدلات التجوية بطرقة الأقراص الصخرية (*) *Rock Tablets* اقترحه *Trudgill, 1975*:

ويقصـــد بهـــذا القياس حساب معدل التجوية من خلال وضع قطعة صخرية معلقة داخل كيس شبكى دقـــيق جداً (فتحات أقل من ٦٣ ميكرون) بحيث لا يسمح بمرور أى جزيئات منحوتة، ويتم وزن قطعة الصخر قبل وضـــعها داخل الكيس وبعد وضعها لفترة زمنية معينة بحيث يكون فارق الوزن بعد ذلك يمثل ما يتم تجويته (الفاقد بسبب التجوية). ويمكن استخدام شبكة أوسع فى فتحاتها *Acoarser Mesh* لتتبع درجة النحت فى المجارى المائية.

والأقـــراص الصـــخرية المســـتخدمة تـــبرز الأهمـــية النسبية لإذابة الحجر الجيرى والنحت فى الكهوف والأرصفة الساحلية وتُستخدم كذلك لمقارنة معدلات الإذابة فى الصخور المختلفة.

ويتم القيام بها على النحو التالى:

١) استخراج نواة صخرية بشنيور (بمثقاب) *A core Drill* لاستخراج قلب صخرى بقطر ١,٥سم.

٢) تقطع إلى أقراص صخرية بسمك ٠,٥سم.

٣) يتم تنعيم وصقل الأقراص الصخرية والتى يجب أن تكون بنفس الحجم وبشكل منتظم.

٤) يتم تنظيفها بالماء المقطر والكحل أو الأسيتون لإزالة أية شحوم من جراء اقتطاعها.

٥) يتم تجفيفها عند درجة حرارة ١,٥°م لمدة ٢٤ ساعة، ثم تبرد قبل وزنها لأقرب كسر.

٦) يتم وضعها فى الأكياس الشبكية (من النايلون) والتى يتم غلقها وترقيمها.

٧) يكرر غسلها وتجفيفها وإعادة وزنها.

٨) يـــتم التعبير عن النتيجة بـــ مليجرام/السنة أو مللم فى السنة وذلك فى حالة ما إذا كانت كثافة القرص وسطحه معروفين مسبقاً.

وقـــد استخدم *Caine, 1979* طريقة أخرى تتمثل فى سحقه للصخر بحيث يتحول إلى جزيئات قطرها نحو ٦مـــلم يـــتم وزنها لأقرب كسر ووضعها فى أكياس شبكية بفتحات ١مللم وتركها تحت ظروف تسودها التجوية لمدة ٧سنوات ويقدر بعد ذلك معدلات تجويتها *(Goudi, Ibid, p.143)*.

(*) عادة ما تحتاج دراسة التجوية الكيماوية إلى أخذ عينات من أعماق مختلفة وإخضاعها للتحليل الكيماوى وبمقارنة الصخر الطازج – غير المجوى – بالصخر فى مراحل التحلل المختلفة حيث يكون بفقدان عناصر معينة يحدد معدل التجوية.

(و) قياس معدل الإذابة من خلال التحليل الكيماوى لمياه المجارى المائية :

ويتم من خلال تحليل مياه النهر لتحديد محتواها من الكلسيوم *Calcium Content* فإذا ما تم الحصول على رقم خاص بذلك بجانب تحديد الكمية الكلية لتصريف النهر فإنه يمكن حساب الفاقد من الكالسيوم.

وقد حدد *Corbel* علاقة لحساب عدد المليمترات من الحجر الجيرى التى أُزيلت لكل ١٠٠٠ سنة بواسطة الإذابة فى منطقة مكونة من الحجر الجيرى.

وتتمثل على النحو التالى :

$$\text{Erosion in } m^3/yr/Km^2 = \frac{4ET}{100}$$

حيث أن :

E = تمثل الجريان السطحى للماء بالديسيمترات.

T = كمية كربونات الكلسيوم مليجرام لكل لتر.

(ز) وهناك معادلة مغايرة اقترحها كل من *Williams and Eroom, 1965* وتأخذ الشكل التالى :

$$\text{Solution in } m^3/yr/Km^2 = \frac{M}{Sa \times 10^6}$$

حيث أن :

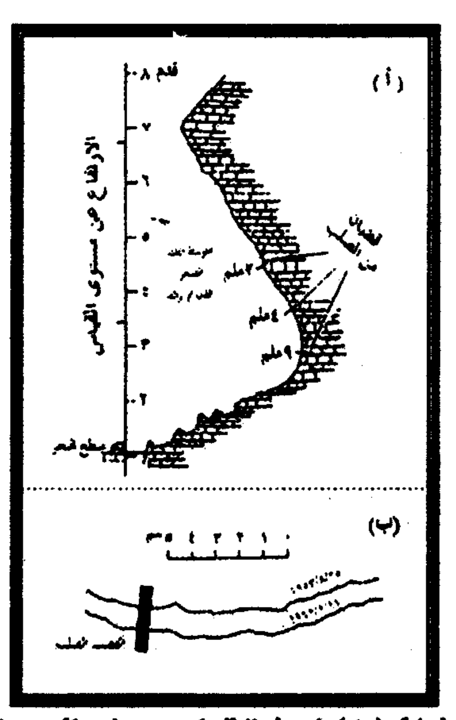
M = كتلة الحجر الجيرى التى أزيلت فى عام واحد بالجرامات.

S = الكثافة النوعية للحجر الجيرى.

a = مساحة منطقة تصيد المياه بالكيلومتر المربع.

ويمكن تحويل نواتج المعادلتين السابقتين من كمية الحجر الجيرى المذاب إلى معدل، فإزالة ١٦ م^3/كم^2/السنة تساوى ١٦ ملم/لكل ١٠٠٠سنة، أو بمعنى آخر تخفيض السطح بمعدل ١٦ مللم فى كل ١٠٠٠ سنة (Ollier, Ibid, p.247).

(ح) ويوضح الشكل التالى (٨) كيفية قياس معدلات تجوية وجه جرف ساحلى منخفض يتكون من صخور جيرية عند موضع Peron غرب استراليا بارتفاع ٨ أقدام :



شكل (٨) كيفية قياس معدلات التجوية على وجهة جرف ساحلى مكون من صخور جيرية غرب أستراليا

وقد استخدم هودكن Hodgkin, 1964 فيه وسيلة القياس المباشر للحصول على معدل النحت، حيث ثبت قضباناً من الصلب غير القابل للصدأ فى صخور الحجر الجيرى الصلبة لفجوة أمواج Notch عند ارتفاعها مختلفة فوق مستوى سطح البحر، وقد أزيلت القشرة السطحية من الفجوة خلال فترة زمنية، وأمكن قياس معدل التراجع للجرف مقارنة بنهايات القضبان، وقد وجد أن وجه الجرف قد نحت نحتاً كلياً وكان أكثر قطاعاته تأثيراً هو القطاع السفلى حيث كان معدل التراجع ١ملم كل سنة.

وجدير بالذكر أنه رغم إمكانية حساب معدلات التراجع واختلافها حسب المناسيب على وجه الجروف إلا أنه ليس من الواضح حتى الآن لماذا يتوقف التراجع بشكل مفاجئ أو يصبح بطئ جداً عند مستوى سطح الماء. وإن كان من المتحمل أن لتعاقب البلل Wetting والتجفيف Drying أهمية كبيرة فى ذلك.

(ط) وهناك قياسات مماثلة لما قام به Hodgkin تمت على يد الكثيرين مثل قياسات إيمرى Emery, 1941 :

التى استخدم فيها تجوية النقوش المؤرخة Dated Inscriptions فى لاجولا La Jolla بكاليفورنيا وذلك للحصول على معدل التجوية والذى حدده وفقاً لقياساته بنصف ملليمتر فى السنة.

وفى جزيرة نورفوك Norfolk فإن درجات حاجز الأمواج المبنى من الحجر الجيرى قد تعرضت لتجوية شديدة فيما بين عامى ١٩٣٩ و ١٩٥٥ وقد استطاع Hodgkin من تتبعه لها استنتاج ما يلى :

١) عند أدنى منسوب وجد أن معدل النحت والتجوية تراوح ما بين نصف ملليمتر والملليمتر الواحد فى العام.

٢) يتناقص معدل النحت بالارتفاع مع تناقص تكرار البلل.

٣) التجوية تكون أكثر سرعة فى الحفر التى تتراكم فيها المياه.

٤) أن التجوية فى الأوجه الرأسية أبطأ نسبياً منها فى الأسطح الأفقية.

وقد وجد بشكل عام أن معدلات التجوية على الصخور الجيرية الساحلية عادة ما تكون ثابتة وذلك بسبب الثبات النسبى للظروف السائدة مع علم وجود أى تعقيدات قد تنتج من تراكم المواد المجواة (*).

(*) جدير بالذكر أن وسائل تحديد معدلات التجوية الكيماوية نادراً ما تتم فى صخور أخرى غير الحجر الجيرى وذلك بسبب وجود الكثير من التعقيدات.

ثانياً : مؤشرات وقياس معدلات التجوية الملحية من الميدان :

مقدمة:

إن نمو بللورات الملح من المحاليل قد تؤدى فى ظروف معينة إلى تفكك الصخر Disaggregation of Rock فيما يشبه دور الصقيع، والقضية هنا ليست قضية تكون الملح فى ذاته ولكنها تكمن فى صعوبة شرح كيفية استمرار النمو البللورى للملح فى الضغط على الجوانب الصخرية بالشقوق والفجوات أو فى الفراغات البينية Voids وقيامها بتفكك حبيباته.

وعموماً عند نمو البللورات الملحية فإنها تولد اجهادات مد Expanse Stresses على حدود الفواصل الصخرية وعلى حبيباته وهذا التفكك قد يحدث بانتظام على المنحدرات أو قد يتمركز فى مواضع ضعف محددة مثل حفر التجوية أو التكهفات الصخرية خاصة فى البيئات الصحراوية المدارية حيث الظروف البيئية ملائمة ممثلة فى تساقط محدود وحرارة مرتفعة مما يساعد على تكون بللورات الملح خاصة عند أقدام المنحدرات.

وفى المناطق شبه الجافة يعد الغبار الملحى من العوامل الأكثر أهمية فى عمليات التجوية حيث يستقر فى الشقوق ويعمل على اتساعها إلى جانب ما يسببه من انبعاجات فى السطوح الصخرية عقب سقوط المطر، يظهر ذلك بوضوح على السواحل المدارية حيث تزيد طاقة التبخر مع تبلور للملح الموجود القادم مع رذاذ البحر داخل الشقوق الدقيقة بالصخر (Pitty, A., F., 1973, p186). وفى المناطق المدارية الأكثر رطوبة توجد عملية غسيل للملح نحو طبقة ما تحت التربة مما يقلل من دورها فى عمليات التجوية (للاستزادة، راجع محمد صبرى محسوب، ٢٠٠١)، ويجد شكل آخر للتجوية الملحية وفقاً لرؤية كل من Cooke and Warren يتمثل فى تمدد الأملاح بالحرارة داخل مسامات الصخر خاصة مع ارتفاع درجة الحرارة خلال ساعات النهار فى الصحارى المدارية مما يؤدى إلى ترسب بلورات الملح فى التشققات Crevices قرب سطح الأرض وتعرض الصخر للتفكك الحبيبى Grenular Disintegration أو ما يشبه التقشر Exfoliation.

وجدير بالذكر أنه لا توجد أشكال أرضية محدودة يمكن أن ترجعها كلية للتجوية الملحية وإن كان هناك العديد من الملامح الدقيقة تعود فى تكونها لهذه العملية (Ollier, 1979, p.13) على سبيل المثال نجد أن هضبة المعازة بالصحراء الشرقية بمصر تحتوى صخورها على كلوريد الصوديوم مما ساعد على تشقق سفوح جوانب التلال والأودية وظهورها فى شكل جرف شديد الانحدار. كما يرى بعض الجيومورفولوجيين أن الشكل الفعلى للجزيرة الجبلية Inselberg قد يعود إلى التجوية الملحية Salt Weathering.

وتــبدو آثــار الــتجوية الملحــية بوضــوح عــلى المبانى والمنشآت من خلال تشققها وتقشر طلائها وتــآكل جدرانهــا وهــبوط أساســاتها كمــا تتأثر الطرق الممتدة فى المناطق السبخية المنخفضة التى يقترب فيها منســوب المــياه الجوفــية مــن الســطح، أو فى الســهول الســاحلية المدارية مثل ساحل جيزان فى السعودية وســواحل مصــر عــلى الــبحر الأحمــر والــبحر المتوســط. وجديــر بالذكر أن التفكك الناجم عن التجوية الملحية عادة ما تصحبه تجوية كيماوية.

تتمثل الأشكال المرتبطة بالتجوية الملحية والتى يمكن تتبعها بالملاحظة والقياس الميدانى فيما يلى :

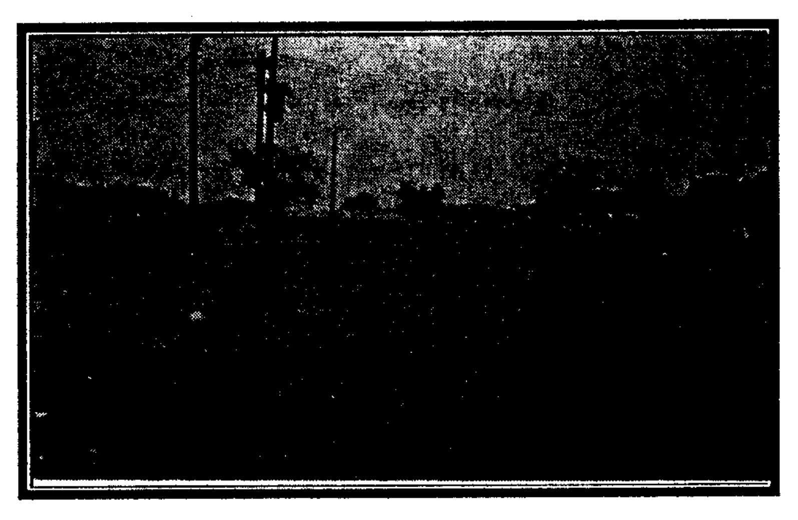
(أ) حفر التجوية Weathering Pits:

وهــى حفــر متبايــنة الأحجــام تشــكلت بفعــل التفكك الحبيبى الناجم عن تركز بللورات الملح فى مواضع ضــعف فى مكاشــف الطــبقات Outcrops وفى مواضــع الشــقوق، ويمكــن معــرفة أثر التجوية الملحية فى تكونها مع وجود تراكمات من الأملاح والمفتتات والتى يمكن أخذ عينات منها وتحليلها وتحديد نسبة الأملاح وأنواعها.

(ب) التنهدات السطحية بالمــناطق المغطــاة بقشــور أو راقــات ملحــية Crusts or Layers of Salts مثلما الحال فى مــنطقة ســهل الطيــنة شمــال غــربى شــبه جزيــرة سيناء، كذلك يظهر أثر التجوية الملحية فى توسيع التشققات الطينية الناتجة أساساً من تعاقب البلل والجفاف.

(جـ) يعــد تشقق الطرق فى المناطق الجافة المنخفضة – مــثل الســهول الســاحلية الممــتدة عــلى طــول البحر الأحمر فى مصــر وكذلــك الســاحل المتوســطى شمــالى الصــحراء الغربــية – من مؤشرات التجوية الملحية مع ظهور هبوط واضــح فى قطاعــات مــنها حيــث تنشــط الــتجوية فى إحــداث هــذه التشققات ومظاهر الهبوط بسبب زيادة معــدلات التــبخر للمــياه الجوفــية الصــاعدة بفعــل الخاصــة الشــعرية بحيــث تــبقى الأملاح متراكمة داخل الشقوق وتتعرض بدورها للتموء أو التمدد الحرارة مولدة اجهادات على جوانب الشقوق وتوسيعها.

ويمكــن قــياس امــتدادات هــذه الشــقوق وأعماقهــا واتســاعاتها عــلى طول إمتدادها مع معرفة منسوب المياه تحت السطحية، ويمكن أخذ عينات من حشو هذه الشقوق وتحليلها معملياً. لوحة (٥).



لوحة (٥) تشقق الطرق بفعل التجوية الملحية وتدميرها

نظـــراً للآثـــار الـــتدميرية عـــلى المـــبانى مـــن جـــراء زيـــادة نشـــاط التجـــوية الملحية يمكن تتبع آثارهـــا على دهـــانـــات المـــبانى مـــن خـــلال تحديـــد مظاهـــره عـــلى المبانى فى المناطق التى تتعرض لها وربط درجة خطورتها بمعرفة عمر المبنى ومنســـوب الأرض ومنســـوب المـــياه الجوفـــية ونســـبة كلوريـــد الصـــوديوم فى المـــادة الخـــام الـــتى دخلت فى البناء وكذلك مواجهة المبنى للبحر أو السبخة أو المسطحات الملحية ودراسة العلاقات الارتباطية بين كل هذه المتغيرات.

(د) ومـــن الـــتجارب المعملـــية الـــتى تمـــت بخصـــوص الـــتجوية الملحـــية ما قام به Tricort, 1960 على صخور الجرانيـــت الـــتى دخلـــت فى بـــناء حاجـــز أمـــواج وتعرضـــت للـــتدمير الســـريع حيث حصل على عينات صـــخرية وغمســـها فى مـــاء شـــديد الملوحـــة ثم قـــام بتجفـــيفها ثم قـــام بإزالة المواد المجواة من خلال تمرير فرشـــاة علـــيها ثم قـــام بوزنهـــا (أى وزن المـــواد المجـــواة) وقـــد كرر هذا العمل عدة مرات وكانت النتيجة أن معـــدلات الـــتجوية والكمـــيات الكلـــية لـــلمواد المجـــواة شـــديدة التـــباين ولكـــن الحالـــة المتطرفة فى الـــتجربة تمثلـــت فى فقـــد كـــتلة صـــخرية ٢٪ مـــن وزنهـــا بعـــد ١٢ دورة خـــلال الـــتجربة المعملـــية، واســـتخلص مـــن هـــذه الـــتجربة أنـــه لـــيس واضـــحاً إذ مـــا كانت التجوية الملحية مسئولة بمفردها أو أن الإذابة وتعاقب البلل والتجفيف لعبت أدوارها جزئياً فى تجوية الجرانيت محل التجربة.

(هـ) كذلـــك تم قـــياس عملـــية الـــتمدد الحـــرارى لـــبلورات المـــلح فى المعمـــل ووجد أن البللورات الملحية تتأثر بالفـــارق الحـــرارى الـــيومى حيـــث يـــؤدى إلى تغـــير أحجامهـــا إلى درجـــة يمكـــن أن تســـبب فى تفتـــت الصـــخر، كمـــا لوحـــظ كذلـــك حـــدوث اجهـــادات بســـبب تمـــوء الـــبللورات تعمل بدورها على زيادة فعالـــية الـــتجوية الملحـــية فى الـــتأثير عـــلى الصـــخور وتفتيـــتها، مـــع ملاحظـــة أن معاملات التمدد بفعل الـــتموء لمعظـــم الأمـــلاح الشـــائعة عـــادة مـــا تكـــون أعلى منها مقارنة بالصخور، فعلى سبيل المثال نجد أن حجـــم كـــربونات الكالســـيوم يـــزيد بنســـبة تصـــل إلى ٠,٥٪ ممـــا يـــؤدى إلى حـــدوث اجهادات شديدة على جوانب الشقوق (راجع محمد صبرى محسوب، ٢٠٠١).

وفى دراســـة عـــلى مصـــطفى ميرغـــنى (١٩٩٨) عـــن الـــتجوية الكـــيماوية وأثـــرها عـــلى المنشآت بالمـــناطق الســـاحلية بمدينـــة الإســـكندرية ١٩٩٨. قـــام بملاحظـــات وقياســـات ميدانـــية وذلك من خلال تحيد مواقـــع ومنشـــآت (عيـــنات عشـــوائية) فقـــام بتحليـــلها وتصـــنيفها وحـــدد أثر التجوية على المنشآت من خلال مظاهـــر الـــتجوية الـــتى تعرضـــت لهـــا ومـــنها ظهـــور كلوريد وكبريتات مع نمو بللورى أدى إلى تساقط الطلاء الخـــارجى كذلـــك ظهـــور تشـــققات مائلـــة وطولـــية فى الحوائـــط ممـــا ســـاعد على تسرب المياه داخلها وزيادة معـــدلات الـــتحلل كذلـــك لاحـــظ إزالـــة الطـــبقة الأسمنتـــية الخارجـــية والكشـــاف حديـــد التسليح وتعرضه للتأكســـد "الصـــدأ" مـــع نمـــو بللـــورى للأمـــلاح فى الأســـطح الخارجية للشقوق ومن أوضح ما سجله حدوث هـــبوط للســـطح الخـــارجى لـــلأرض وحـــدد أســـباب ذلـــك مـــن خلال زيادة نسبة القلويات فى المياه المتسربة فى الـــتربة، وقـــام بقـــياس كـــثافة الشـــقوق فى الأعمـــدة والكمـــرات فى الحوائـــط وحدد مواضع سقوط الطلاء الخارجى (للاستزادة راجع على مصطفى ميرغنى، ١٩٩٨).

ثالثاً : تجارب معملية فى التجوية الحرارية :

(أ) عَرض بلاكويلدر *Blackwelder* أنواعاً مختلفة من الصخور لتغيرات حرارية مفاجئة ووجد أن البازلت والجرانيت قد قاوما التسخين المفاجئ من ٢٠٠ - ٣٠٠ْ وذلك قبل أن تتكسر بما وجد أن صخر الأوبسيديان التبريد المفاجئ لنحو -٢٠ْم بدون أن يتعرض للتكسر *(ollier, Ibid, p.15)*.

كما صمم *Griggs* جهازاً يمكن من خلاله تسخين عينة صخرية فى سخان كهربائى ثم تبريدها عن طريق تمرير تيار هوائى بارد وجاف وكان معدل التغير الحرارى ١١٠ْم وكان معدل التسخين والتبريد سريع مع تعاقب هذه الدورات فيما يضاهى ٢٤٤ سنة من التجوية، وقد تمثلت النتيجة فى عدم حدوث تجوية واضحة للصخر الجرانيتى المصقول بعد هذه الدورات التى تساوى ما يقدر بـ ٢٤٤ سنة ولكن عندما حدث التبريد بواسطة مياه باردة فقد وجد تأثر واضح وتشقق سطحى *Surface Cracking* وبداية لحدوث تقشر وذلك بعد دورات تعادل ما يتم فى عامين ونصف فقط.

(ب) الانتفاخ بفعل الرطوبة *Moisture Swelling*:

وجد من خلال التجارب المعملية أن التغيرات الكبيرة فى حجم الصخور قد تنتج ببساطة بسبب امتصاص الصخر للماء (الرطوبة) بحيث تكون تغيرات الحجم كافية لحدوث تجوية فيزيائية.

فقد قام كل من *Nepper and Christensen, 1965* بتعريض عينات صخرية للتشبع بالماء وتعريضها لرطوبة نسبية ٦٥٪ ودرجة حرارة ٢٠ مئوية، وقاما بقياس كل عينة قبل تعرضها للظروف المذكورة آنفاً وبعد تعرضها ثم قاما بالتعبير عن الانكماش *Shrunkagl* بنسبة مئوية بالاعتماد على الطول. وجدا أن الانكماش بلغ فى البازلت ما بين ٠,١٥٪ - ٠,٢٠٪ والظران *Flint* بـ ٠,٠٦٪.

ورغم أن ميكانيكية الانبعاج غير واضحة إلا أنه قد وجد أن العملية ذات أهمية كبيرة فى المناطق التى تتراوح بها الرطوبة النسبية ما بين ٩٠ و ١٠٠٪.

وقد تم تطبيق التجربة سابقة الذكر على ٢٢ عينة من صخور مختلفة الأنواع وذلك بواسطة كل من *Nishioka and Hard, 1958* وتم قياس التمدد الناتج عن امتصاص الرطوبة، ومن هذه الصخور الحجر الرملى والطفلة والحجر الجيرى.

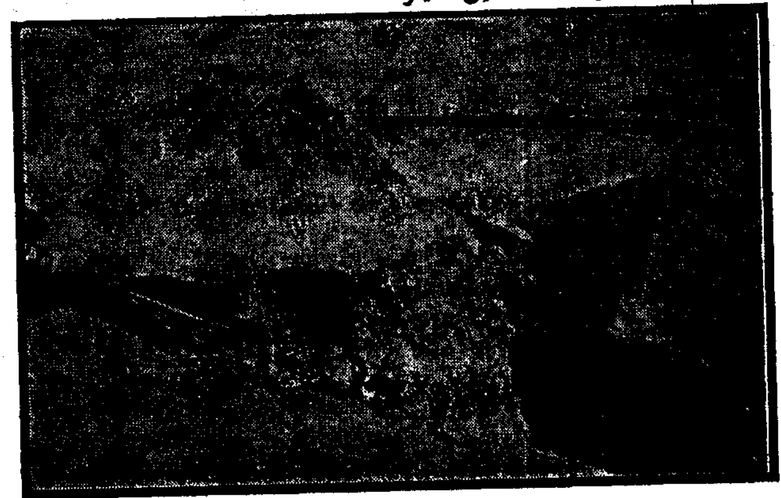
(جـ) تتابع الترطيب والتجفيف للصخور وأثره فى تجويتها :

تم تعريض عينات من الحجر الرملى والحجر الغرينى والطفلة والحجر الطينى لدورات متعاقبة من الترطيب حيث يتم فى البداية غمسها فى الماء لمدة ٢٤ ساعة ثم تترك لتجف فى الهواء الطلق ثم لفها بقماش (شاش خفيف) *Fly Sheet* لمدة يوم.

وقد أظهر الحجر الرملى عدم تشقق مع ظهور تأكسد محدود للغاية بينما تأثر الحجر الطينى بالتأكسد بشكل محدود. بينما تعرضت الصخور الأخرى ذات النسيج الناعم للتفكك بشكل واضح جداً.

وقد اخذ التفكك شكلين؛ الأول تفلق *Splitting*، والثانى الترقق (تشقق فى شكل رقائق)، والأول ظهر فى تكسر الكتلة الصخرية إلى قطعتين كبيرتين أو كاثر بأحجام متساوية تقريباً، وقد ظهر التشقق على طول أسطح الطبقية *Bedding Planes* وكذلك على طول أسطح التشقق *Cleavage* إذا ما وجدت كذلك لوحظ أن هذا التشقق قد حدث فى اليوم الثانى من التجفيف ونادراً ما يحدث أثناء الليل وقد حدث الترقق بعد ٥ دورات من التجفيف والبلل.

وفى العينات التى تفككت تماماً إلى رقاقات صغيرة فإن أول ترقق حدث فى أقل من خمس دورات وأكبر شق ظهر فى أقل من ١٠ دورات وأكبر تفكك حدث فى العينات أخذ ما بين ١٥ – ٧٦ دورة، بينما التفكك الكامل إلى رقات صغيرة قد أخذ نحو ١٨٠ دورة، وعادة ما يحدث التشقق مع تعاقب البلل والتجفيف مرتبط بميكانيكية ضغط جزيئات الماء *Water Molecular Pressure* على جوانب الشقوق، وتوضح اللوحة (٦) أثر تسرب المياه من خلال الشقوق إلى الطبقة الطفلية أسفل التكوينات الجيرية بهضبة المقطم وانتفاخها مما أدى إلى انهيار أعلاها.



لوحة (٦) أثر تسرب المياه إلى الطبقة الطفلية أسفل الطبقات الجيرية مما أدى إلى تشقق وانهيار كتل صخرية من الطبقات الجيرية فى هضبة المقطم

(د) تجربة بسيطة لملاحظة كيفية تلاحم الحبيبات الصخرية :

مراحل التجربة : *(Jackson, J., and Evans, E., 1973, p.254)*

١) خلط كمية من الغراء الأبيض *White Glue* مع نصفها من الماء.

٢) إحضار كوب ورقية وثقبه عدة ثقوب.

٣) وضع حفنة من الحصى أو صخر مجروش فى الكوب المثقوبة.

٤) نسكب الخليط بالكوب مع تجمع المياه المتسربة من ثقوبه فى كوب أخر والانتظار دقائق.

٥) إعادة سكب الماء المتسرب ثانية إلى الكوب المثقوبة والاستمرار فى تكرار العملية بعد انتظار دقائق بين كل مرة ثم التوقف عنها بعد التأكد من حدوث اختلاط كامل بين الخليط الغروى والحبات.

٦) يترك الكوب ومحتوياتها فى مكان دافئ من الليل حتى النهار.

٧) سوف تتماسك (تتلاحم) الحبات ويمكن التأكد من وجود فراغات أو مسامات من عدمه بدفع سلم رقيق فى أحد ثقوب الكوب.

(هـ) تجربة لمعرفة تكون الصخور بدون تلاحم (Ibid, p.257) :

نحضر المواد التالية :

(ملح طعام – سكر – صودة خبيز – ملون غذائى ليحل محل المعادن)

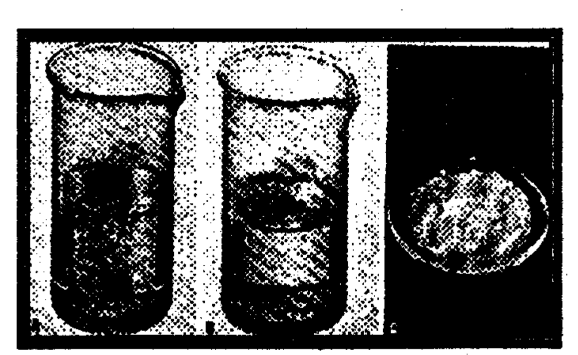
١) إحضار إناء به ماء نقى مع إذابة جرامات قليلة من كل مادة من المواد المذكورة فى الكوب.

٢) تضاف قطرة من ملون الغذاء فى الإناء وخلطه خليطاً جيداً.

٣) يترك المحول فى الإناء حتى يتبخر الماء.

٤) بعد ذلك سوف نجد تكون رواسب فى قاع الإناء وهى ما يعرف فى الطبيعة برواسب المتبخرات *Evaporates* وهكذا نجد أن رواسب الطوفا فى الطبيعة تتكون بهذه الكيفية.

(و) تجربة بسيطة لإذابة الحجر الجيرى بحمض الكربونيك ثم تراكم مواد بعد تبخره :



لوحة (٧) تجربة لإذابة الحجر الجيرى فى حمض الكربونيك وتبخر الأخير وتركه لرواسب المتبخرات

١) إحضار كوب به حمض ثم نضع قطعة من الحجر الجيرى بع كما فى شكل (A).

٢) إذابة كاملة للقطعة الصخرية كما فى الشكل (B).

٣) بعد التبخر الكامل للحمض تبقى مواد فيما يمكن تسميته المتبخرات (C). راجع اللوحة رقم (٧).

(ز) كيفية قياس المسام وحجم الجزيئات الصخرية :

من المعروف أن الرمل خليط من جزيئات مختلفة الأحجام وكلما كبر حجم الرمل كلما زادت الفراغات البينية (المسام) والعكس مع صغر الحبيبات، وهذه تجربة بسيطة فى متناول الجميع وليست فى حاجة إلى أجهزة وتعطى مؤشرات.

الأدوات المطلوبة :

(مناخل بفتحات مختلفة – أنابيب اختبار – رمل – قلم شمع "فلوماستر")

١) يتم نخل الرمال وتحديد نوعين من الأحجام الرملية وذلك لمقارنة حجم الجزئ والمسام.

٢) يتم ملء أنبوب اختبار بالكامل بالحبات الخشنة.

٣) يتم ملء أنبوب اختبار بالكامل بالحبات الناعمة.

٤) يتم الضغط برفق على الحبات الرملية فى الأنبوبتين إلى أن تتماسك الحبات بإحكام بقدر الإمكان.

٥ - تستمر إضافة حبات لكل نوع على حده ويكتب حرف (ك) على الأنبوب الممتلئ بالحبات الخشنة و (ص) على الأنبوب ذو الحبات الناعمة

٦) يتم وضع إبهام اليد على فتحة أحدهما ويقلب الأنبوب ويغمر فى إناء به ماء مع عدم تحريك الإصبع إلى أن تصبح فتحة الأنبوب تحت سطح الماء

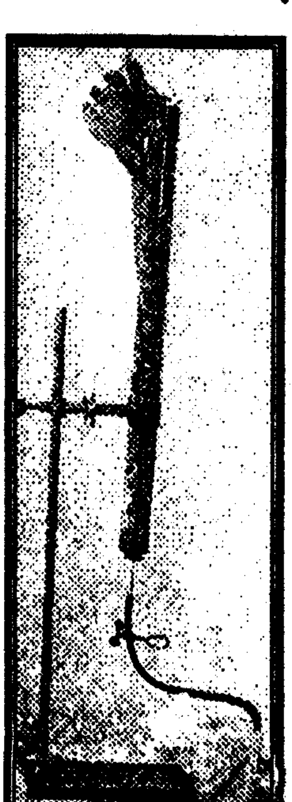
٧) يسمح للرمل بالسقوط من الأنبوب فى إناء الماء.

٨) قبل إخراج الأنبوب تحدد علامة أقصى ارتفاع للماء فى الأنبوب عندما خرجت منه الرمال (سقطت فى الإناء) مع ملاحظة أن الماء قد حل محل الرمل ولم يحل محل الهواء الذى احتجز فى المسامات بين الجزيئات والذى بقى فى الأنبوب.

٩ - تعاد العملية السابقة فى الأنبوب (ص) بنفس الترتيب السابق.

١٠ - ماذا نستنتج مما سبق ؟ أى الحجمين يحتوى على هواء أكثر وأيهما يحتوى على مسام أكثر

رابعاً : قياس معدل تدفق الماء فى الرواسب وما احتجز داخل مسامها :



لوحة (٨) لقياس سرعة تدفق المياه فى الرواسب

(أ) يحضر نوعان من الرواسب الرملية الجافة (خشن وناعم)

(ب) يوضع كل نوع فى إناء (أنبوب)، مع الضغط الخفيف عليه.

(جـ) يصب ماء محدد الكمية (معروف كميته) بالمليمترات.

(د) يوضع إناء الأنبوب المعلق كما باللوحة (٨)

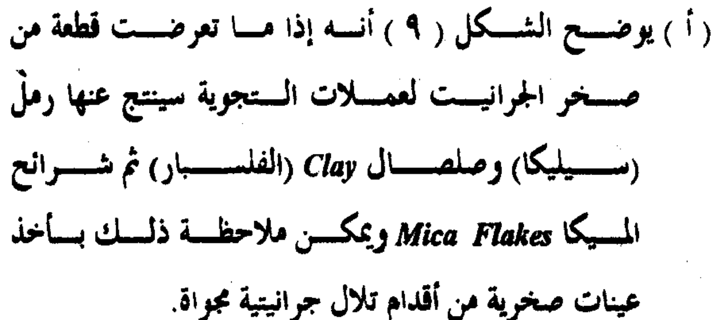
(هـ) تستخدم ساعة توقيت لتحديد الفترة التى تستغرقها تصرف الماء فى الأنبوب بعد فتح الصمام.

(و) يتم الاحتفاظ بالماء المنصرف ويحدد الوقت الذى استغرق فى تفريغ الماء من الأنبوب ثم يتم قياس حجمه (الماء المنصرف) وهنا يكون ناتج طرح الكمية المنصرفة من الكمية التى تم صبها بمثابة الماء الذى تم اختزانه فى المسام.

(ز) تعاد التجربة على الرواسب الرملية الخشنة مع استخدام نفس كمية المياه المستخدمة فى التجربة الأولى والقيام بنفس العمليات

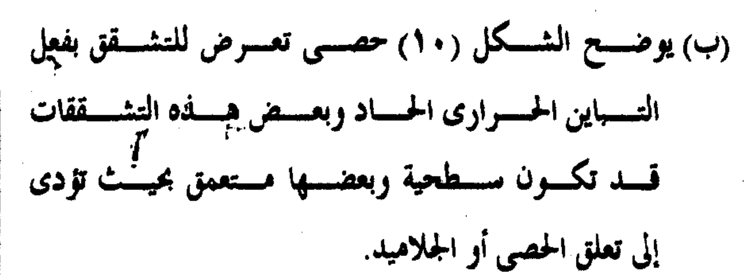
(ح) بالمقارنة بين التجربتين سنجد أن تحرك المياه فى الثانيه يكون أسرع وبكمية أكبر وهذا يدل على أن الرواسب الناعمة تحتفظ بالمياه بكمية أكبر مقارنة بالرواسب الرملية الخشنه (Jackson J.. and Evans, E.. 1973, p.372)

خامساً : ملاحظات وقياسات هامة للأشكال والملامح الأرضية المرتبطة بالتجوية :

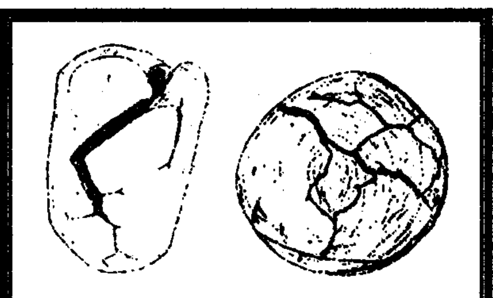


(أ) يوضح الشكل (٩) أنه إذا ما تعرضت قطعة من صخر الجرانيت لعمليات التجوية سينتج عنها رمل (سيليكا) وصلصال *Clay* (الفلسبار) ثم شرائح الميكا *Mica Flakes* ويمكن ملاحظة ذلك بأخذ عينات صخرية من أقدام تلال جرانيتية مجواة.

شكل (٩) نتائج تجوية صخر الجرانيت



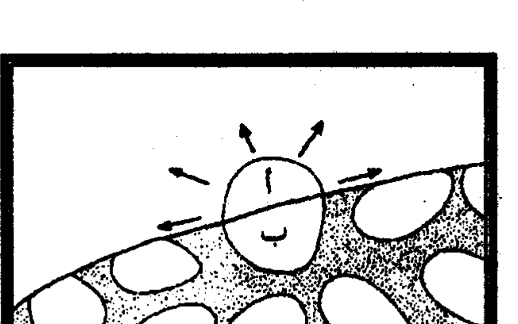
(ب) يوضح الشكل (١٠) حصى تعرض للتشقق بفعل التباين الحرارى الحاد وبعض هذه التشققات قد تكون سطحية وبعضها متعمق بحيث تؤدى إلى تعلق الحصى أو الجلاميد.



شكل (١٠) حصى تعرض للتشقق بفعل حرارة الشمس فى صحراء طومبز فى بيرو

(جـ) هناك ما يمكن ملاحظته ميدانياً فيما يخص التجوية الحرارية وهو ما يعرف بالتفكك الكتلى *Blocky Disintegration* (*)، وهذه تلاحظ عادة فى الصخور الكوارتزية مثل الجرانيت فى الصحارى المدارية.

(د) يوضح الشكل (١١) ميكانيكية تشقق جلمود صخرى نصفه مدفون فى الرواسب والنصف العلوى مكشوف بعد إزالة الرواسب منه العلوى لم يعد مقيداً *Unconfined* (أ) وأصبح حراً فى عدده مع التسخين ولكن الجزء(ب) المقيد *Confined Part* لا يتعرض للحرارة بمثل ما يتعرض له الجزء العلوى إلى جانب صعوبة تمدده مما يولد إجهاداً *Stress* بين الجزئين العلوى والسفلى مما يؤدى إلى تكون شق *Crack* بين الجزئين ويمكن للجزء العلوى السقوط إذا ما كان موجوداً على منحدر أرضى، وفى بعض الجلاميد المتشققة بفعل التجوية الحرارية نجد حدوث تشققاتفى الصخر لا تؤدى إلى انشطاره ولكنها قد تكون تشققات جزئية تملئ بالمفتتات.



شكل (١١) ميكانيكية تشقق جلمود صخرى

(*) تعمل النباتات التى تنمو داخل الشقوق التى ترسبت فيها مكونات صخرية مفتتة على زيادة عملية التفكك خاصة مع تشربها بالمياه التى تساعد على تشعب المجموع الجذرى.

(هـ) يلاحظ من اللوحة (٣) كيف أن المجموع الجذري للأشجار يتعمق فى التشققات الصخرية ويعمل على زيادة فعالية تفككها.

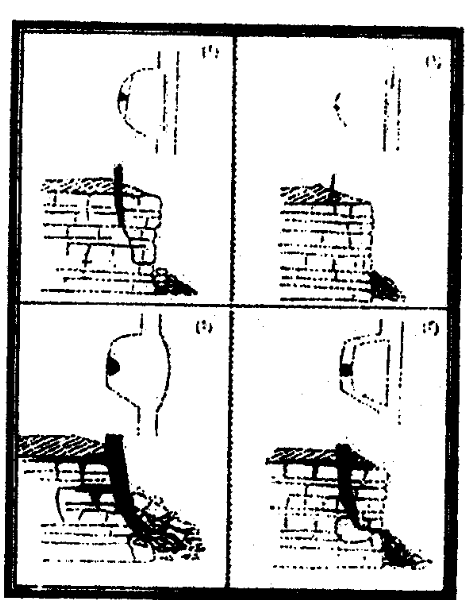
(و) يوضح الشكل (١٢ أ) العلاقة بين جذور الأشجار وتفكك الصخور بالمنحدرات شديدة الانحدار :

١) بداية توغل الجذر فى أحد الشقوق لمسافة محدودة فى امتداد وتدلى مع وجود تراكمات من المفتتات عند حضيض الجرف.

٢) زيادة امتداد الجذر مع وضوح اتساع الشق.

٣) زيادة امتداد وتوغل الجذر واتساع الشقوق الرأسية والأفقية مع استقرار وجه الجرف الجيرى.

٤) تضخم فى حجم الجذر وتشعبه داخل الشقوق مع حدوث انهيار لوجه الجرف.



شكل (١٢ أ) العلاقة بين جذور الأشجار وتفكك الصخور

(ز) دور النمو الشجرى فى تطور سطح الأرض وتكون النتوءات الصخرية الرأسية أو ما يعرف بالأبراج الصخرية *Rocky Tors* شكل (١٢ ب) :

١) مرحلة أولية.

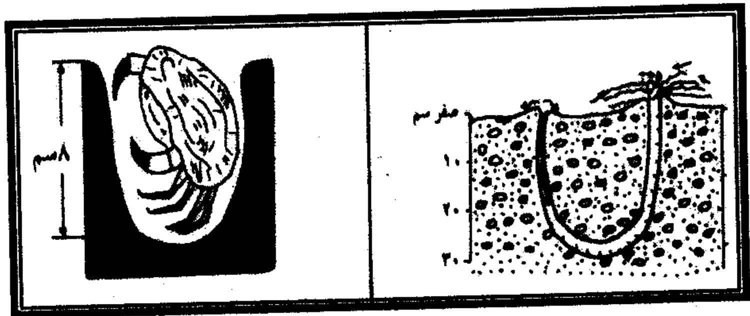
٢) تفكك للكتل الطبقية كثيرة الفواصل بواسطة النمو النشط للمجموع الجذرى مع تخفيض سطح التربة.

٣) زيادة عمليات التفكك وبروز النتوءات الصخرية الرأسية.



شكل (١٢ ب) أثر النباتات الشجرية على تجوية الصخور

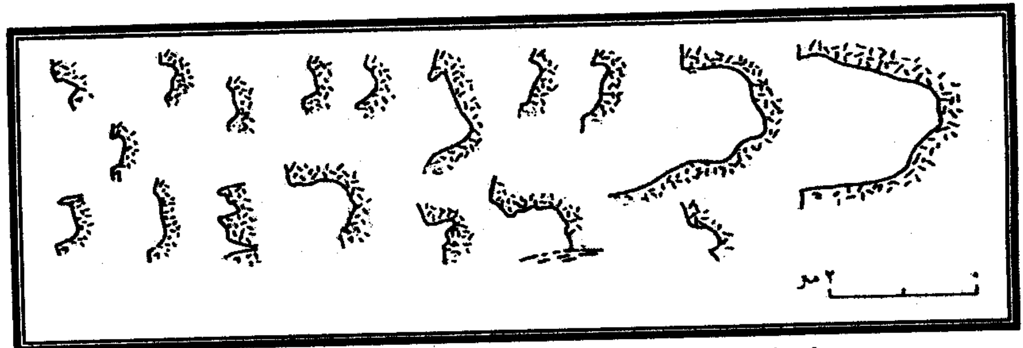
(ح) يوضح الشكل (١٣) دور حيوان الكابوريا (سرطان البحر) *Crab* فى حفر تجويفات فى رواسب المسطحات المدية الداخلية – لاحظ شكل الحفرة التى يوجد بها الحيوان وعمقها – من خلال مقياس الرسم الذى يصل إلى نحو ثمانية أمتار *(Pitty, ... 1973, p.152)*.



شكل (١٣) دور حيوان الكابوريا فى حفر تجويفات فى رواسب المسطحات المدية

(ط) تتكون قشور كلسية صلبة على جوانب التلال الجيرية مثلما الحال فى تلال الحجر الجيرى البطروخى بالساحل الشمالى فى مصر فى منطقة رأس الضبعة ومرسى مطروح وغيرها، وعادة ما تتكون هذه القشور مع تكرار تصاعد محلول بيكربونات الكالسيوم إلى السطح بعد فترة سقوط المطر وذلك بواسطة الخاصة الشعرية ثم تعرضه للتبخر ومن ثم تتراكم المواد الصلبة وتتبلور فى شكل قشور صلبة *Duri Crusts* وإذا ما كان لونها بنى فإن هذا اللون يرجع عادة إلى حدوث تفاعل بين ماء المطر أو الرطوبة النسبية المرتفعة فى الجو مع الشوائب الحديدية المحدودة جداً فى صخور الحجر الجيرى، ومع تحولها بالتموء إلى أكاسيد حديد غير قابلة للذوبان يؤدى ذلك إلى صبغ الطبقة السطحية باللون المائل للاحمرار وكثيراً ما تظهر هذه العملية فى مناطق من الصحارى حيث يظهر ما يعرف بالورنيش الصحراوى بعد صقل الأرصفة الصحراوية بفعل الرياح.

(ى) حفر التافونى *Tafoni* حيث يوضح الشكل (١٤) مقاطع رأسية لعينة من التافونى فى صخور جرانيتية ونيسية جنوب استراليا، وهذه الظاهرة منتشرة فى مناطق مختلفة فى ظروفها المناخية خاصة قرب السواحل المدارية الحارة، واللوحة (٩) توضح حفر إذابة تافونى *Tafoni*.

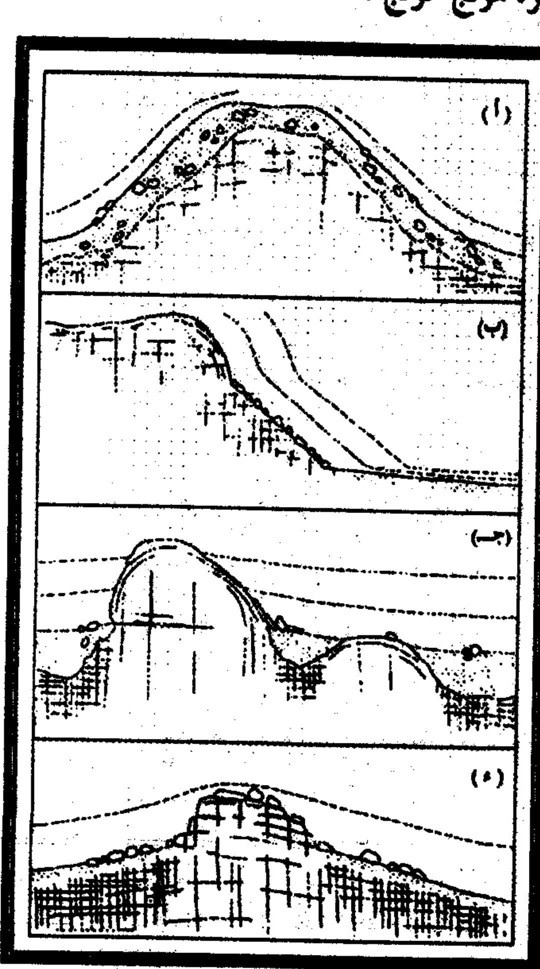


شكل (١٤) حفر التافونى بأبعادها وأشكالها المختلفة



لوحة (٩) حفر إذابة التافونى *Tafoni*

(ك) يوضح الشكل (١٥) نطاقات التجوية بالسفوح الجرانيتية بجزيرة هونج كونج :



شكل (١٥) نطاقات التجوية بالمنحدرات الجرانيتية بجزيرة هونج كونج

١) النطاق العلوى (أ) ويتكون من مفتتات متبقية من رمال كوارتزية مع احتواءها على كتل صخرية غير مجواه يبلغ سمكها ما بين ١-٢٥ متراً.

٢) النطاق (ب) يحتوى على مفتتات متبقية مع نويات من الصخور المستديرة تمثل ٥٠٪ من سمك رواسب هذا القطاع.

٣) النطاق (جـ) يتكون من كتل صخرية مستطيلة من صخر الأديم *Bedrock* وهى صخور منفصلة بشكل واضح، يراوح كل هذا النطاق ما بين ٧-١٧ متراً.

٤) النطاق (د) صخور جرانيتية منفصلة مجواه بشكل جزئى بسبب تخلل المياه بها فى المراحل الأولى من الفواصل والفتحات ومع مرور الزمن تمددت مع زيادة سمك النطاقات العلوية الثلاثة على حساب النطاق الذى تتوقف تجويته عند الحد الذى تختفى عنده الفواصل الصخرية.

الفصل الثالث

القياسات الميدانية الخاصة بالمنحدرات والأودية الجافة وحركة المواد على السفوح

أولاً : تحليل المنحدرات.

ثانياً : حركة المواد على المنحدرات من الدراسة الميدانية.

مقدمة :

أهمية دراسة المنحدرات :

تفيد دراسة المنحدرات لاسيما من الناحية المورفومترية فى التعرف على أشكالها وتطورها وإلقاء الضوء على أهم العوامل والعمليات الجيومورفولوجية التى أسهمت فى تشكيلها ومازالت تؤثر عليها وعلى تطورها الجيومورفولوجى، وتجد الإشارة إلى أن أشكال المنحدرات ما هى إلا انعكاس للظروف الجيولوجية والمناخية والجغرافية المختلفة التى انتابت المنطقة.

ولإتمام ما سبق لابد للباحث أن يحدد مجموعة من القطاعات العرضية والطولية على جوانب الأودية وعلى الحافات المختلفة وذلك من خلال الخرائط الطبوغرافية مقياس ١ : ٥٠,٠٠٠ أو الخرائط مقياس ١ : ٢٥,٠٠٠ كلما أمكن ذلك، والخرائط المصورة "الموزايك" نفس المقياسين السابقين، ثم معرفة الخصائص الجيولوجية للمواضع المختارة عليها القطاعات من خلال الخرائط الجيولوجية والمرئيات الفضائية الرقمية *(TM)* والدراسات الجيولوجية السابقة، كل ذلك يسبق الدراسة الميدانية.

ويجب أن تمثل القطاعات للمناطق المختارة من حيث الخصائص الليثولوجية والتركيبية للتكوينات هذا بالإضافة إلى أنها يجب أن تمثل منحدرات منطقة الدراسة خير تمثيل. كما يتم قياس القطاعات ميدانياً من خط تقسيم المياه حتى مجرى الوادى أو عندما يتلاشى المنحدر ويلتقى بمنطقة سهلية – كما فى قطاعات الحواف المطلة على السهول الدلتاوية – (مرتفعات البحر الأحمر)، هذا ويتم القياس على أشد أجزاء المنحدر انحداراً، أو كما أطلق عليها ينج *Young* اسم الانحدار الحقيقى *True Slope* مع استخدام بعض الأدوات التى تخدم الدراسة الميدانية مثل، شريط تيل وبوصلة وشاخص وآلة تصوير وجهاز *GPS* ... وغيرها من أدوات الدراسة الميدانية.

ثم يتم بعد العمل الميدانى رسم القطاعات والملاحظات الميدانية من خلال الزوايا والمسافات الأرضية لكل زاوية، عن طريق ترتيبها فى كل قطاع من صفر-٩٠ درجة وتجمع المسافة الأرضية لكل زاوية وتحسب نسبتها من إجمالى أطوال القطاعات، ثم يتم بناءً على ما سبق تصنيفها إلى فئات ومجموعات انحدارية مختلفة، بحيث يمكن من خلالها معرفة وتحديد لأهم الزوايا الشائعة *Characteristic Angles* فى كل فئة ونسبتها المئوية وكذلك لتحديد الزوايا الحدية الدنيا والعليا وذلك لتوضيح خصائص الانحدار بمنطقة الدراسة، مع اتباع أحد التصنيفات المعروفة مثل تصنيف ينج *Young* وغيره من المهتمين بدراسة المنحدرات، وربط كل ما سبق بالظروف الجيولوجية والجيومورفولوجية والمرحلة العمرية التى مر بها المنحدر. لأن المنحدر يعد انعكاساً لمثل هذه الظروف والخصائص الجيومورفولوجية التى تمر بها المنطقة قيد الدراسة.

ثم يتم حساب نسبة معدلات السقوس لدرجات الانحدار فى كل قاع وعلى مستوى مجموعة القطاعات لبعض الظاهرات (جوانب الأودية)، وذلك لتحديد خصائص الانحدار وتصنيفه لفئات فيها المحدب والمقعر والمستقيم من أجل الوصول إلى تحديد أهم العوامل الجيومورفولوجية التى شكلت هذه المنحدرات.

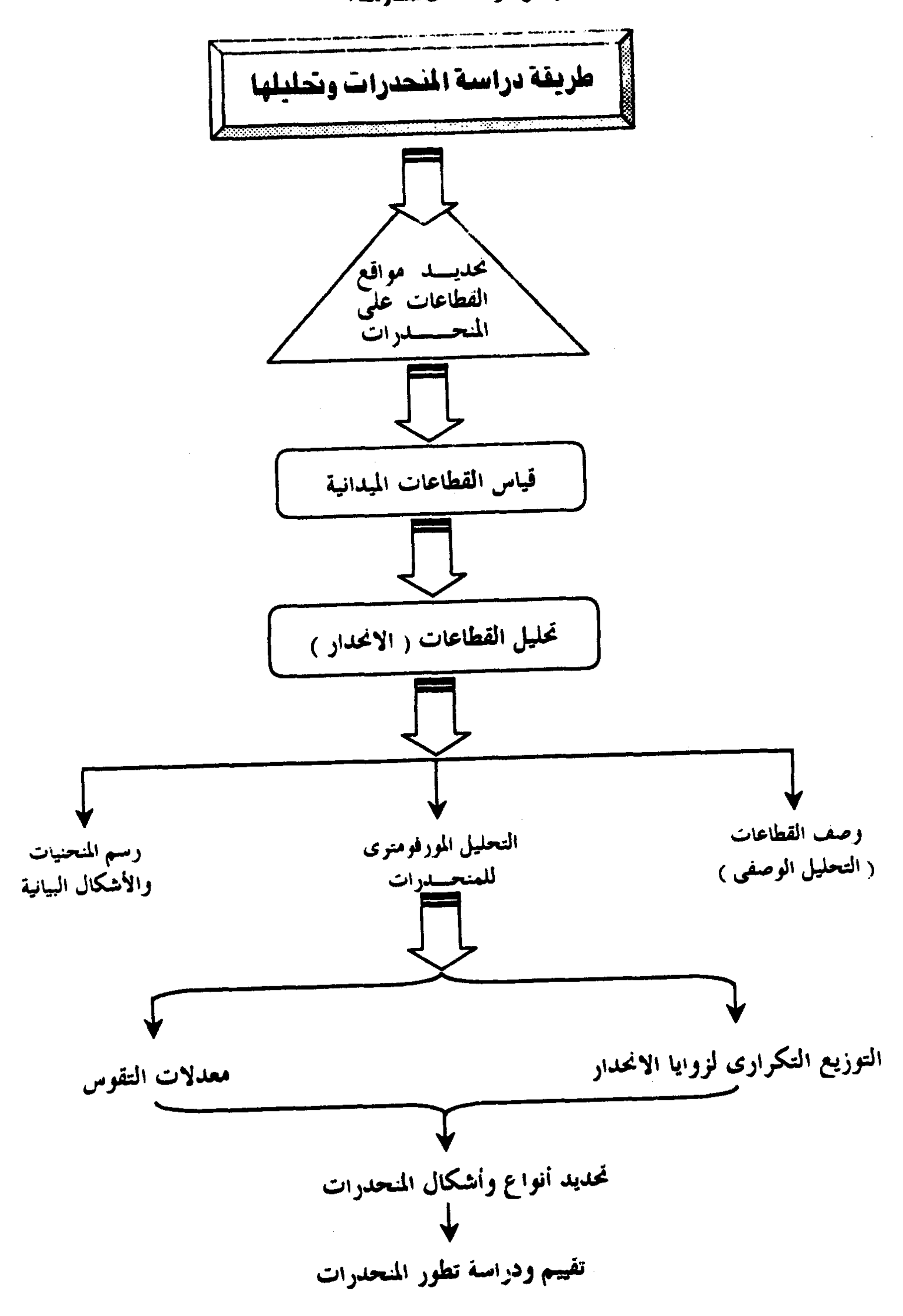
ومما زاد من أهمية هذه الدراسات مدى التطور الحديث فى وسائل التكنولوجيا المتقدمة من استخدام لأنظمة المعلومات الجغرافية والاستشعار من بعد والتطبيقات الهندسية فى دراسة المنحدرات ودخول الحاسب الآلى فى عمليات التحليل والمعالجة.

كل ذلك عمل على زيادة الإلمام بأشكال المنحدرات وتطورها وخصائصها الجيومورفولوجية والمورفولوجية المختلفة ثم معرفة مراحل تطورها المختلفة.

هذا وقد تطورت دراسة المنحدرات فى العقدين الأخيرين تطوراً كبيراً، وقد وجهت دراسة المنحدرات فى السنوات الأخيرة إلى الجوانب التالية :

١) تطوير أساليب قياس العمليات الجيومورفولوجية فى الميدان، ومع قطاعات الانحدار فى بيئات تحاتية مختلفة، مع تركز خاص على الانهيالات الأرضية.
٢) تطوير النماذج النظرية للمنحدرات ومقارنتها بمعظم المنحدرات الطبيعية.
٣) تطبيق أساليب المسح الجيوفيزيائى فى دراسة المنحدرات والمواد السطحية التى تغطيها.
٤) دراسة التوزيع التكرارى لزوايا الانحدارات فى البيئات التحاتية المختلفة.
٥) دراسة المنحدرات على المستوى الإقليمى فى بيئات مناطق جيولوجية متفاوتة ومقارنتها مع بعضها البعض.
٦) تطوير أساليب رياضية ومعملية للدراسة المنحدرات على المستوى التفصيلى ودراسة المواد السطحية.
٧) تطوير النماذج التى توضح تطور المنحدرات مع الزمن.
٨) تطور الدراسات التطبيقية الخاصة بتطبيق أساليب تحليل المنحدرات فى معالجة المشاكل الهندسية، لا سيما معرفة مدى استقرار المنحدرات بالنسبة للمشاريع الهندسية كالطرق والمراكز العمرانية.
٩) تطور الدراسات التطبيقية، الخاصة بتطبيق أساليب تحليل المنحدرات فى مشاريع مسح التربة وتعريتها وتخطيط استغلال الأرض للزراعة ...... وغيرها.

وبوضح هذا الشكل طريقة مقترحة لمراحل دراسة المنحدرات :



شكل (١٦) طريقة مقترحة لمراحل دراسة المنحدرات

ومـن الشـكل السـابق والـذى يوضح مقترح لدراسة المنحدرات، يمكن الاعتماد عليه فى دراسـة المـنحدرات على أية منطقة فى أى بيئة مختلفة، حيث يتم فى المرحلة الأولى للدراسة وضع نظـام لاختـيار قطاعـات الانحدار وفقاً لمتغيرات مورفولوجية حتى تكون هذه القطاعات ممثلة تمثيلاً جـيداً لمورفولوجـية منطقة الدراسة، وبعد اختيار مواضع القطاعات يتم مسحها ميدانياً، وبعد مرحلة المسـح المـيدانى لجميع القطاعات، تبدأ مرحلة تحليل القطاعات، وقد سبق تلك المرحلة تمثيل البيانات الحقلية الخاصة بزوايا الانحدار والمسافات المقاسه حقلياً على أشكال بيانية بمقياس رسم مناسب.

وبعـد ذلـك يتم إخضاع تلك البيانات والقياسات للتحليل المورفومترى عن طريق التوزيع الـتكرارى لـزوايا الانحدار ودراسة معدلات التقوس، ومن خلال التحليل السابق يمكن الوقوف على أهـم أنـواع المنحدرات بالمنطقة قيد الدراسة، ثم فى النهاية تتوصل الدراسة إلى استنتاج لطريقة تطور المـنحدرات خلال الزمن مع توضيح لنماذج تلك المنحدرات *(Young, 1972, Small, 1979)*، علاوة عـلى تقـيم للمـنحدرات وذلك بناءاً على التدخلات البشرية وآثار المنحدرات السلبية والأخطار الـناجمة عـنها، والـتى تهـدد أوجـه النشاط البشرى والموارد الطبيعية بالمنطقة. ووضع المقترحات لحل مثل هذه المشكلات المختلفة.

الخصائص العامة للقطاعات :

- بلغـت أعـداد القطاعات التى تم قياسها ميدانياً ثلاثة وثلاثون قطاعاً، بطول حوالى عشرين كيلو مـتراً، غطـت جمـيعها الحافة الرئيسة وجوانب الأودية المختلفة. والقطاعات الطولية للأودية، وقـد روعـى فى اختـيار مواقـع هـذه القطاعات أن تمثل جميع أجزاء الأودية والحافة الرئيسة بتكوينها الجيولوجية المختلفة.
- بلغـت أطـوال القطاعـات عـلى جوانـب الأوديـة ١٢,٧ كيلومتراً بنسبة ٦٣,٨٪ من جملة أطوال القطاعـات، وكانـت فى أعـالى الأودية ١١,٤٪ وفى أواسط الأودية ٢٧,٢٪، بينما بلغت نسبة الأجزاء الدنيا للأودية ٢٥٪ من جملة أطوال القطاعات التى تم قياسها على جوانب الأودية.
- بلغـت نسـبة أطوال القطاعات الطولية ٢٩٪ من جملة أطوال القطاعات، غطت خمسة أودية فقط شـكل رقـم (٤٥) وهـى نسبة ضئيلة إذا ما قورنت بأطوال القطاعات العرضية نظراً لأنها الظاهرة الوحـيدة الـتى أوضـحتها القطاعـات الطولـية هى نقط تغير الانحدار التى ترجع إلى الاختلافات الليثولوجية للتكوينات مع تغير أيضاً فى مستوى القاعدة للأودية.

- بلغت أعداد القطاعات على الحافة الرئيسة ثلاث قطاعات شكل رقم (١٧ أ) بلغت أطوالها ١٤٨٨ متر بنسبة ٧,٤٪ من جملة أطوال القطاعات. حيث بلغت نسبتها حوالى ٩٥٪ من أجزاء قطاعات الحافة الرئيسة، فى حين بلغت نسبة الأجزاء المغطاة بالركام على جوانب الأودية ١٠٠٪ فى بعض القطاعات، بينما لم تقل هذه النسبة عن ٢٧٪ فى أى قطاع من القطاعات التى تم قياسها ميدانياً، كما اختلفت أيضاً أحجام وأنواع الرواسب على القطاعات.

شكل (١٧ أ)

- تنوعت التكوينات على مستوى القطاعات، ورغم ذلك فقد لوحظ أن تكوينات الأيوسين الأسفل والأوسط تظهر فى كل القطاعات فى صورة جروف رأسية متأثرة بالشقوق والفواصل بالتجوية والتعرية، ويتضح ذلك من خلال المفتتات المتراكمة أسفلها على طول المنحدرات، بالإضافة إلى تكوينات الكريتاسى بتقسيماتها المختلفة وتكوينات الزمن الرابع، المتمثلة فى مصاطب الأودية والمراوح الفيضية وركام المنحدرات التى جلبتها الأودية من أعالى الهضبة.
- أما بالنسبة لأشكال القطاعات العرضية فكانت فى الأجزاء العليا على شكل حرف (V)، أما القطاعات فى الأجزاء الوسطى والدنيا فكانت على شكل حرف (V) المفتوح الزاوية، وشكل حرف (U) لاسيما فى الأجزاء الدنيا، كما فى أدنى وادى أم حماضة التى وصلت إليها الأودية، علاوة على تباين التكوينات الجيولوجية لاسيما فى الأجزاء الدنيا للأودية.
- تباينت أيضاً قيم المتوسطات لزوايا الانحدار على القطاعات بالمنطقة، حيث بلغ متوسط زوايا الانحدار على القطاعات الطولية ١٠,٧ درجة، وتعد لأقل متوسطات لدرجات انحدار على مستوى قطاعات المنطقة، فى حين بلغ متوسط زوايا انحدار قطاعات الحافة الرئيسة ٢٥ درجة فهى ذات انحدار متوسط، أما أجزاء الأودية المختلفة فتباينت عليها متوسطات زوايا الانحدار حيث بلغت ٤٠,٧ درجة فى أعاليها، بينما كانت ٣٩ درجة فى أواسطها، أما أدناها فبلغ متوسط زوايا انحدار قطاعاتها ٢٧,٨ درجة.

- كمـــا اختلفــت أيضــاً أطــوال لقطاعات، فبلغت أطوالها فى أدنى وأواسط الأودية وعلى سبيل المـثال كـــان طول قطاع أوسط أم حماضة ١٥٦٠ متر، بينما تقل أطوال قطاعات أعالى الأودية، حيـــث بلـــغ طـــول قطاع أعلى وادى أسخر ٣٢٠ متر. أما بالنسبة للقطاعات الطولية فبلغت أطوالها ٥,٧ كيلو متر وهى لا تقارن بأطوال القطاعات العرضية.

تضـــم عملـــية تحليل القطاع تقسيمه إلى أجزاء صغيرة تتميز كل منها بخصائص مورفولوجية معيـــنة، ويـــتم تحديـــد الأجزاء والوحدات الانحدارية بناء على الشكل الكلى لقطاع الانحدار بغض الـــنظر عـــن العملـــيات الجيومورفولوجـــية الـــتى تمـــارس نشـــاطها على طول القطاع، أو التطور الجيومورفولوجى للقطاع *(Young, 1972, P. 148)*.

هـــذا وقـــد تطـــورت أســـاليب التحلـــيل المورفولوجـــى للمنحدرات على يد العديد من الباحـــثين(*) ويـــتم تحليل القطاع عن طريق استخدام أسلوبين هما، (١) **الأسلوب الوصفى**؛ الذى يقوم عـــلى اختـــيار الشـــكل البيانى للقطاع، (٢) **الأسلوب الكمى فى تحليل القطاع**؛ وهو ما يعرف بنظام الوحدات الأمثل المبرمج الذى وصفه *Yang, A.,* حديثاً *(Young, 1972)*.

يعـــد كـــل من سافجيير *Savigear* وينج *Young* ممن وضعوا الأسس الكمية للمنحدرات، وقـــد يعد *Young* أبرز الباحثين المحدثين فى هذا المجال، ويريا أنه يمكن تقسيم القطاع الكلى للمنحدر (الـــذى يـــتكون مـــن عدد كبير من القراءات الخاصة بأطوال المسافات المقاسه فى الحقل وزوايا ميل تلـــك المســـافات) إلى قطاعـــات صـــغرى مستقيمة *Rectilinear* مقوسة *Curved* أطلق عليها اسم أجـــزاء انحداريـــة *Slope Segments* وعناصـــر انحدارية *Slope Elements* ووحدات انحدارية *Slope Units* وقد تكون الوحدة الانحدارية إما جزءاً أو عنصراً انحدارياً شكل (١٧ ب).

شكل (١٧ ب) مكونات المنحدر (الوحدات والأجزاء والعناصر بقطاع منحدر)

(*) اهم الباحثين:

1- Savigear. 1952, 1956.
2- Young. 1963, 1964, 1972. 200

ويتم وصف الأجزاء الانحدارية على أساس متغيرين هما؛ درجات انحدارها (ميلها)، وأطوالها المقاسه فى الحقل (أى ليست المسافة الأفقية المقابلة) كأن يقال جزء انحدارى طوله ٥٠ متراً ودرجة ميله ٢٠ درجة من جهة أخرى توصف العناصر الانحدارية استناداً إلى ثلاثة متغيرات هى :

١) معامل التقوس (أى معدل التغير فى زاوية الميل على طول العنصر، ويعبر عنه بالدرجات لكل ١٠٠متر).

٢) درجات الميل عند النهايتين العليا والسفلى للعنصر.

٣) طول العنصر بالأمتار.

كأن يقال عنصر انحدارى طوله ٥٠ متراً وزاويتا الميل العليا والسفلى ٥ْ ، ١٠ْ ومعامل تقوسه ١٠ْ / ١٠٠ متر.

ومن الشكل (١٧ ب) الذى يوضح الوحدات والأجزاء والعناصر الانحدارية التى يتضمنها قطاع انحدارى نظرى، يعرف الجزء من القطاع الذى يكون انحداره أكبر من الوحدات الانحدارية أعلاه وأسفله مباشرة اسم الجزء الأقصى ***Maximum Segment***، أما القسم الذى يقل انحداره عن الوحدات المجاورة فيسمى قسم الدرجة الدنيا ***Minimum Segment***، ويطلق على الجزء أو الوحدة المستوية السطح نسبياً والتى تفصل بين انحدارين متضادين وقد يكون حافة ضيقة كما هو فى الأراضى الشابة ***Reguvenated***، أو منطقة متبقية من التعرية (سهل تحاتى) ***Rejuvenated***، اسم الجزء القمى (قسم القمة) ***Crest Segment***.

أما العنصر فقد يكون عنصراً محدباً أو عنصراً مقعراً ويطلق التحدب ***Convexity*** على مجموعة الوحدات الانحدارية (عناصر انحدارية) المتجاورة التى تزداد على طولها زاوية الميل أسفل المنحدر أو تبقى ثابتة لمسافة ما قبل أن تتزايد ثانية، أما إذا تناقصت زاوية الميل أسفل المنحدر يصبح القطاع مقعراً، هذه المجموعة يطلق عليها اسم تتابع السفح ***Slope Sequence*** وقد يحد تتابع السفح قسم القمة من ناحية أو قسم الدرجة الدنيا عند القاعدة، وقد يحدها النهر أو خط الساحل ولكن هذه الأقسام خارجة عن تتابعات السطح، وقد يتكون السفح من أكثر من تتابع واحد، وترقم التتابعات تاريخياً من القمة نحو القاعدة ويعزى ظهور تتابعين من تتابعات السطح إلى وجود طبقة من الصخور الصلبة أو قد تكون نتيجة لتجديد شباب الأنهار ***Rejuvenatiern*** الذى يؤدى إلى استئناف النحت الرأسى عند أقدام المنحدرات ويطلق على الفترة الزمنية التى يتم خلالها تكوين تتابع واحد اسم طور النمو ***Phase of Development of Slope*** (السيد الحسينى، ١٩٧٧، ص ٢١).

هــذا وقــد يحــدث الــان مــن أطوار النمو ينتج عنها تكون تتابعين للسفوح، بل وأكثر مــن ثلاث تتابعات وهو أمر شائع الحدوث *(Savigear, 1956. p. 62)*، كما هو الحال فى جنوب ويلز وجنوب وغرب إنجلترا *(Young, 1963, 1964, 1970)*.

وفيما يلى أهم المصطلحات التى أوردها *Young* شكل (١٧ ب) فى التحليل المورفولوجى للقطاعات هى :

١) وحدة المنحدر (الوحدة الانحدارية) *Slope Unit* وهى إما الجزء *Segment* أو العنصر *Element*.

٢) الجــزء الانحــدارى *Segment* وهو الجزء من قطاع المنحدر الذى تبقى على طوله زاوية الميل ثابتة (هو الجزء المستقيم فى القطاع).

٣) العنصــر الانحــدارى *Slope Element*، وهــو الجــزء مــن قطاع المنحدر الذى يبقى على طوله معامل التقوس ثابتاً.

٤) العنصــر المحــدب *Convex Element* فى القطاع، وهو العنصر الذى تزداد على طوله زاوية الميل باتجاه أسفل القطاع، بمعنى آخر تكون قيمة تقوسه موجبة.

٥) العنصــر المقعــر *Concave Element* فى القطاع وهو ذلك العنصر الذى تتناقص على طوله زاوية الميل باتجاه أسفل القطاع بمعنى آخر تكون قيمة معامل تقوسه سالبة.

٦) الجــزء الأقصــى *Maximum Segment* مــن القطــاع وهو ذلك الجزء من القطاع الذى تكون درجــة مــيله أكــبر من درجة الوحدات الانحدارية أعلاه وأسفله، وقد تعلو الوحدة السفلية من القطاع وحدة أخرى أقل منها انحداراً.

الجــزء الأدنى *Minimum Segment* مــن القطاع وهو ذلك الجزء من القطاع الذى تكون درجــة مــيله أقــل من درجة ميل الوحدات الانحدارية أعلاه وأسفله وقد تعلوه الوحدة السفلية من القطاع وحدة أشد منها انحداراً.

٧) قسم القمة *Crest Segment* وهو ذلك الجزء الذى يحده من الجانبين منحدران هابطان إلى أسفل.

ونظــراً لأن التقســيم الســابق للمــنحدرات إلى وحــدات وأجزاء وعناصر انحدارية يُعدُ تقســيماً وصــفياً يــتم باســتخدام الشكل البيانى للقطاع ويخضع فى معظم الأحوال للحكم الذاتى للشــخص الــذى يقــوم بالتحلــيل، وبالتالى تتباين نتائج تحليل القطاعات من شخص لآخر ونسوق لذلك مثالاً يوضح هذه الفكرة.

جدول (٣) تقسيم نظرى لقياس منحدر

المسافــة (متر)	١٠	١٠	١٠	١٠	١٠	١٠	١٠	١٠
الدرجـــة	٧	٦	٧	٦	٧	٨	٧	٨

من خلال القياسات الميدانية لهذا القطاع يمكن اعتبار هذا الجزء من القطاع جزءاً انحدارياً *Segment* بطول ٨٠ متراً، ومعدل انحداره ٧ درجة، أو جزئين انحداريين طول كل منهما ٤٠ متراً ومعدل انحدار الأول ٦,٥ درجة، والثانى ٧,٥ درجة.

... هذا يؤكد أن هناك إمكانية وجود اختلاف فى نتائج تحليل وتفسير القطاعات من شخص لآخر باستخدام النتائج الوصفية للشكل البيانى، ويرجع هذا كما يذكر (يحيى فرحان، ص٢٧) إلى عدم تحديد معدل التغير *Variability* فى درجات الانحدار ومعامل التقوس المسموح به على طول الأجزاء والعناصر الانحدارية.

كما يمكن تأكيد ما سبق من خلال المثال التالى:

أخذت القراءات التالية : ٣ْ ، ٣ْ ، ٤ْ ، ٣ْ ، ٢ْ ، ٣ْ ، ٣ْ ، ٣ْ والقراءات ٣ْ ، ٥ْ ، ٢ْ ، ٣ْ ، ٤ْ ، ٣ْ ، ١ْ ، ٣ْ .

هنا يمكن اعتبارها أجزاءً انحدارية معدل انحدار كل منها (٣ْ) على الرغم من أن القراءات الخاصة بالجزء الانحدارى الأول تشير إلى أنه جزء أكثر استقامة من الجزء الثانى، وهذا يؤكد مرة أخرى بأن المقصود بالثبات التقريبى لزاوية الانحدار للجزء الانحدارى هو ثابت نسبى وليس مطلقاً.

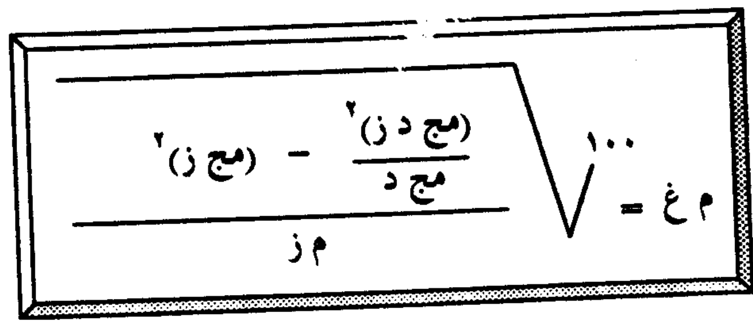
أما كيفية التخلص من هذه الرؤية الذاتية وآثارها على النتائج الخاصة بتحليل القطاعات الانحدارية المختلفة، فقد اقترح *(Young,1971 A, 1971 B)* نطاقاً مبرمجاً يهدف إلى تقسيم قطاع الانحدار إلى الوحدات والأجزاء والعناصر التى يتكون منها بحيث لا يزيد معامل التغير لزاويا الانحدار والتقوس عند حد معين (يحدده الباحث مسبقاً)، أطلق على هذا النظام "نظام الوحدات الأمثل" *The System of Best Units*.

أهم مميزات هذا النظام:

١) يتبع نفس مبدأ الأسلوب الوصفى فى تقسيم القطاع وتحليله إلى الوحدات والأجزاء والعناصر الانحدارية التى يتكون فيها.
٢) لا يشترط فى أى قطاع تساوى المسافات المقاسة فى الميدان.
٣) يشترط تحديد معدل التغير المسموح به(*) لتغير زوايا الانحدار على طول الجزء الانحدارى، وكذلك معدل التغير المسموح به لتغير معامل التقوس على طول العنصر الانحدارى قبل بدء العمل.
٤) أن هذا النظام صالح للخزن والاسترجاع والنقل بالكمبيوتر مما يؤكد البعد عن الأحكام الذاتية.

(*) بناءً على معامل التغير Coefficient of Variation الذى استخدمه Young فإن العنصر الانحدارى هو ذلك الجزء من القطاع الذى لا يزيد فيه معامل التغير للتقوس (Vemax) عن مقدار محدد.

أما معامل التغير فقد تم حسابه من المعادلة التالية :



$$م\,غ = \frac{100}{م\,ز}\sqrt{\frac{(مج\,د\,ز)^2}{مج\,د} - (مج\,ز)^2}$$

م ز = معدل زوايا الانحدار الموزونة(*)

د = المسافة المقاسه فى الحقل.

ز = زاوية الانحدار.

وقد استخدام *Young* معامل التغير بدلاً من الانحراف المعيارى كمقياس إحصائى، لأن قيمة التفاوت فى درجات الانحدار مهما كانت صغيرة "درجة واحدة مثلاً" على جزء انحدارى خفيف من القطاع يكون أكبر وأكثر أهمية منها على جزء انحدارى شديد الميل.

التوزيع التكرارى لزوايا الانحدار : *Angel Frequency Distribution*

استخدم المؤلف التوزيع التكرارى لزوايا الانحدار فى تحليل الزوايا التى قام بقياسها على منحدرات منطقة الجلالة القبلية بالصحراء الشرقية، وترجع أهمية استخدام التوزيع التكرارى لزوايا الانحدار فى الدراسات المورفومترية للمنحدرات كأداة لتمثيل زوايا الانحدار التى تم قياسها ميدانياً فى صورة أشكال بيانية توضح التوزيع التكرارى لزوايا الانحدار على المنطقة قيد الدراسة.

وذلك للاستفادة من الآتى :

- مقارنة زوايا الانحدار على بعض أشكال السطح فى بيئات تحاتية مختلفة من حيث تكوينها الجيولوجى وظروفها المناخية وتطورها الجيوموفولوجى وذلك للتعرف على أوجه التشابه والاختلاف بينهما مما يساعد على معرفة الشذوذ فى الخصائص الموفولوجية المحلية التى تميز أشكال السطح المختلفة.
- التعرف على الزوايا الشائعة *Characteristic Angles* التى تميز أنواعاً مختلفة من المنحدرات فى أقاليم تحاتية مختلفة من النواحى الجيولوجية والمناخية واستخدامها فى تفسير مورفولوجية الوحدات والأجزاء الانحدارية وطبيعة تطورها، والتعرف على طبيعة التوزيع التكرارى من حيث أنه وحيد أم ثنائى أو ثلاثى المنوال واستخدام نتائجها فى تمييز المنحدرات وتحديد خصائصها الموفولوجية على أساس الشكل والظروف المناخية *(Young, 1972, p: 167)*.

(*) معدل زوايا الانحدار الموزونة = م ز = $\frac{مج\,د\,ر}{مج\,د}$

- مقارنــة البــيانات الخاصة بأحواض التصريف أو بأحدها مع درجة معينة من البيانات الكلية عن المنطقة، وذلك للتعرف على أوجه التشابه والاختلاف بين نمط التوزيع التكرارى للبيانات.
- اســتخدام الــتوزيع الــتكرارى لزوايا الانحدار فى الدراسات الهندسية للمنحدرات بما فى ذلك تطبــيقات ميكانــيكا الــتربة *Soil Mechanics* مــع التركيز على دراسة استقرارية المنحدرات واختــيار العلاقــة الموجــودة بــين طبــيعة المواد السطحية والصخرية *Regolith*، وخصائصها الهندســية مــن جهــة، ونمــط الــتوزيع التكرارى لزوايا الانحدار والزوايا النهائية لاستقرارية المــنحدرات مــن جهــة أخرى، إذ فسرت الزوايا الشائعة فى هذا المجال على أنها الزاوية النهائية أو الحــرجة تجــاه بعــض العملــيات الجيومورفولوجية كالانهيالات الأرضية *Mass Movement* وبالــتالى فســرت مورفولوجــية المــنحدرات الجانبية للأودية على أنها نتاج عمليات الانهيالات الأرضية السريعة (فرحان، بدون، ص ٤٤).
- يعكــس أيضــاً توزيــع زوايــا الانحدار على أشكال السطح المختلفة التاريخ المورفولوجي الذى مرت به هــذه الأشــكال، فشــيوع الانحــدارات الخفيفة – كما يرى *Young* – قد يشير إلى المرحلة الأخيرة من مــراحل الــتطور حــين تشــير أيضــاً الانحــدارات المتوســطة إلى مرحلة وسط بين المرحلتين السابقتين (*Young, 1972, p: 167*)، ويتضــح مما سبق مدى أهمية التوزيع التكرارى كأحد الأساليب التى تستخدم فى تمثــيل وتحليل البيانات التى تم قياسها ميدانياً، ويقوم المؤلف بتحليل التوزيع التكرارى لزوايا انحدار المنطقة، ثم تحليل زوايا انحدار باقى أشكال الانحدارات بهذا، كما يلى :

التوزيع التكرارى لزوايا انحدار المنطقة :

تم تقســيم زوايــا الانحدار إلى سبع فئات تبعاً لتقسيم *Young (1972)* لزوايا الانحدار والذى يعتمد على توضيح الخصائص العامة للانحدار كالتالى :

جدول (٤) فئات الانحدار تبعاً لتقسيم *Young*

ســـطح مســـتوى	مـــن صـــفر – ٢°
ســطح خفيف الانحدار	مـــــن ٣° – ٥°
ســطح متوسط الانحدار	مـــــن ٦° – ١٠°
ســطح فــوق متوســط	مـــــن ١١° – ١٨°
ســطح شــديد الانحدار	مـــــن ١٩° – ٣٠°
سطح شديد الانحدار جداً	مـــــن ٣١° – ٤٥°
الجـــــــــروف	أكـــثر مـــن ٤٥°

After :Young, 1972

وقـد قـام المؤلـف باستخدام تعديل لهذا التقسيم أُستخدِم فى العديد من الدراسات السابقة لكى تظهر الاختلافات فيما بين منحدرات المنطقة حتى يتسنى المقارنة بمنحدرات قريبة من المنطقة مجال الدراسة.

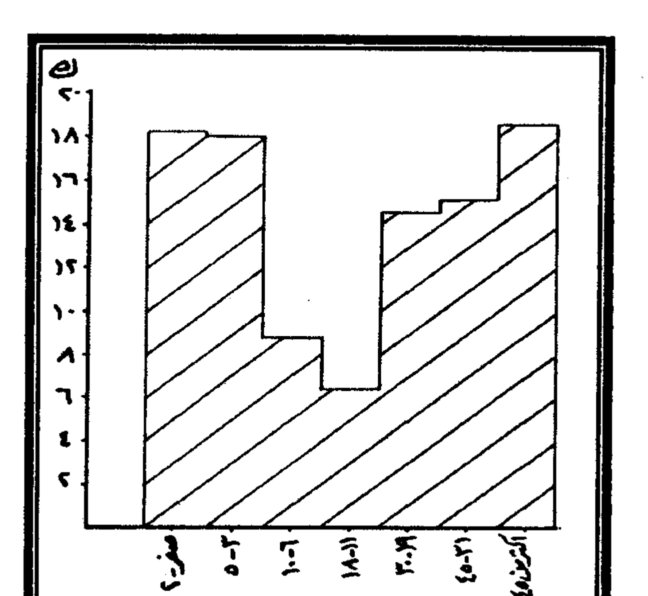
جدول (٥) التوزيع التكرارى لفئات زوايا الانحدار على جوانب سفوح منطقة الجلالة

فئات الانحدار	طبيعة الانحدار	إجمالى أطول القطاعات		التقسيم المعدل		
		المسافة (متر)	٪ من أطوال القطاعات	الانحدار	المسافة (متر)	٪ من إجمالى أطوال القطاعات
صفر – ٢	مستوى	٣٨٢٦	١٨,٢	خفيف	٩٤٥٤	٤٤,٩
٣ – ٥	خفيف	٣٨١٣	١٨,١			
٦ – ١٠	متوسط نوعاً	١٨١٥	٨,٦			
١١ – ١٨	متوسط	١٤٥٠	٦,٩	متوسط	٤٤٩٣	٢١,٣
١٩ – ٣٠	شديد	٣٠٤٣	١٤,٤			
٣١ – ٤٥	شديد جداً	٣١٠٩,٥	١٤,٧	شديد	٣١٠٩,٥	١٤,٧
أكثر من ٤٥	جروف	٤٠٣٧	١٩,١	جروف	٤٠٣٧	١٩,١
الإجمالى	ـــــ	٢١٠٩٣,٥	١٠٠٪	ـــــ	٢١٠٩٣,٥	١٠٠٪

... من الجدول رقم (٥) اتضح ما يلى :

- تحتل الانحدارات البسيطة (صفر – ١٠ درجة) نسبة ٤٤,٩٪ من جملة أطوال قطاعات المنطقة، وهى أعلى نسبة مقارنة بدرجات الانحدار الأخرى، حيث أنها تمثل المناطق المستوية وقيعان الأودية وأسطح البيدمنت وأسطح المراوح الفيضية ومصاطب الأودية وبصفة عامة تزيد الانحدارات البسيطة (المستوية والخفيفة)، تليها الانحدارات المتوسطة الشديدة نسبياً بنسبة ٢١,٣٪ من جملة القطاعات، وتكاد تمثل جميع السطوح لاسيما تلك التى تنشط عليها آثار التجوية مما يؤدى إلى زيادة مخروطات الهشيم على جوانب الأودية والحافة الرئيسة.
- بلغت الانحدارات الشديدة جداً نسبة ١٤,٧٪ من جملة القطاعات حيث تمثل السطوح المعراة من الرواسب وتقع أسفل القطاع المغطى بالركام والانهيالات الكتلية، كما تمثل الأجزاء المشرفة على قيعان الأودية مباشرة متمثلة فى حواف أسطح الصدع كما فى وادى أم عنبة وأبو معيمل وأبو رجبة، كما تضم واجهات بعض مصاطب الأودية التى تشرف على المجرى مباشرة. أما الجروف فتمثل نسبة ١٩,١٪ من جملة أطوال القطاعات وهى نسبة لا بأس بها نظراً لسيادة هذا العنصر فى جميع القطاعات التى تم قياسها حيث تظهر فى صورة رأسية على مكاشف تكوينات الحجر الجيرى الأيوسينى متأثرة بالشقوق والفواصل المختلفة،كما تظهر عليها أيضاً آثار التجوية والتعرية.

يتضح مما سبق سيادة الانحدارات البسيطة، مما يشير إلى أن منحدراتها تمر بالمرحلة الأخيرة من مراحل تطورها، مما يتيح الفرصة لتكون التربة، من هنا يمكن زراعتها اعتماداً على المياه الجوفية بالمنطقة.



شكل (١٨) فئات زوايا انحدار منطقة الجلالة القبلية

من الشكل (١٨) يتضح ما يلى :

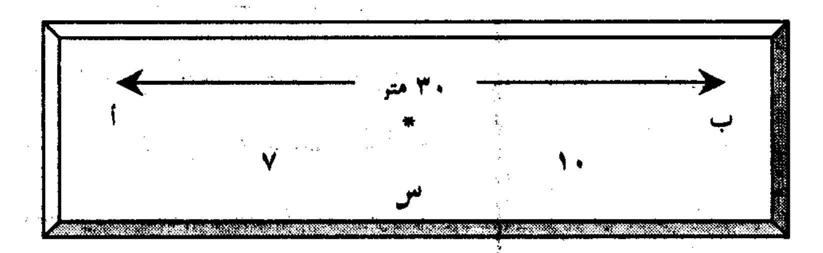
- تتوزع زوايا الانحدار بالمنطقة فى سبع مجموعات، وتوضح كل مجموعة الزاوية الشائعة ونسبتها المئوية وأيضاً الزاوية الحدية العليا والدنيا، وقد كانت الزوايا الشائعة كالتالى؛ صفر، ٥ درجة، ١٣ درجة، ٢٥ درجة، ٣٥ درجة، ٤٥ درجة، ٩٠ درجة، كما بلغت نسبة ما تشغله من أطوال المسافات المقاسة لكل مجموعة على الترتيب ٢٩,٧٪، ٣٢,٤٪، ٤٨,٩٪، ٣٠,١٪، ٢٤,٥٪، ٤٧,٨٪، ٧٧,٤٪.
- يتميز التوزيع التكرارى لزوايا الانحدار بالمنطقة بكونه ثنائى المنوال، حيث يميز هذا النمط المنحدرات فى الأقاليم المناخية شبه الجافة *(Young, 1972, p: 167)*، حيث بلغت الزاوية (١٣ درجة) نسبة ٤٩٪، والزاوية (٩٠ درجة) نسبة ٧٧,٤٪ من أطوال المجموعات كما بلغت أيضاً ١٧,٥٪ و ١٤,٣٪ من جملة القطاعات.
- تنظم زوايا الانحدار من صفر – ٩٠ درجة فى الظهور على جانبى المدرج التكرارى، مع انخفاض شديد فى الجانب الأيمن للمدرج، ثم تعاود الظهور والارتفاع مرة أخرى فى أقصى يمين المدرج التكرارى، وتتضمن القمم الرئيسة فى التوزيع التكرارى للمنحدرات فى المنطقة فئات الانحدار التالية؛ صفر – ٣ درجة، ٤ – ١٠ درجة، ٦٠ – ٩٠ درجة.

يتضح مما سبق سيادة الانحدارات الشديدة أيضاً ولكن بنسبة قليلة نظراً لسيادة الحواف الصدعية وحواف أسطح الصدع، بالإضافة إلى المنحدرات الشديدة المتمثلة فى الجوانب المطلة على الأودية، ومنحدرات الحافة الرئيسة الممتدة بعرض المنطقة.

ثانياً : معدل التقوس : *Curvature*

يمكن تحديد معدل التقوس على طول عدد متتابع من القراءات والزوايا الانحدار والمسافات المقاسه فى حقل، إما عند نقطة معينة على خط القطاع أو لمسافة مقاسه واحدة على خط القطاع أو لمجموعة مسافات مقاسه على خط القطاع وذلك كالتالى :

(١) قياس معامل التقوس عند نقطة معينة على خط القطاع كالتالى :



فـــإذا فـــرض وجود مسافتين هما (أ ، ب)، وكان طول مائة ١٠ متر وانحدار كل مسافة ١٠ْ ، ٧ْ على التوالى، فإن معامل التقوس للنقطة (س) بين المسافتين (أ ، ب) تحسب كالتالى :

$$\text{م ق} = \frac{\text{ز أ} - \text{ز ب}}{\frac{1}{2}\,(\text{أ} + \text{ب})} \times ١٠٠ = \text{درجة / ١٠٠ متر}$$

حيث أن :

م ق = معامل التقوس درجة / ١٠٠ متر.

ز أ = درجة انحدار المسافة (أ).

ز ب= درجة انحدار المساقة (ب).

وبالتالى يكون معامل التقوس عند النقطة (س) = ٣٠ْ / ١٠٠ متر

(٣) قياس معامل التقوس لمسافة على خط القطاع :

يعـــد قياس معامل التقوس لمسافة من لأهمية لمعرفة ما إذا كانت هذه المسافة تقع ضمن جزء الحدارى أو عنصر الحدارى ولمعرفة ذلك نأخذ المثال التالى :

"لـــو كانـــت هناك مسافة (أ ، ب ، جـــ) طول كل منها ١٠ متر ودرجة ميل كل منها (١٠ْ ، ٧ْ ، ٥ْ) على التوالى"، فإن معامل التقوس لكل مسافة يتم حسابه كالتالى :

$$\text{م ق} = \frac{\text{ز أ} - \text{ز جـ}}{\frac{1}{2}\,\text{أ} + \text{ب} + \frac{1}{2}\,\text{جـ}} \times ١٠٠ = \text{درجة / ١٠٠ متر}$$

فتكون النتيجة كالتالى :

(١٠ْ/١٠٠ متر ، ٢٥ْ/١٠٠ متر ، ١٥ْ/١٠٠ متر) على التوالى.

(٣) قياس معامل التقوس لجزء من القطاع يحتوى على عدد من المسافات المقاسه فى الميدان ودرجات انحدارها :

لقياس معامل التقوس لجزء من القطاع يحتوى على عدد من المسافات المقاسه وبالقانون السابق فإذا ذلك يتطلب وقت وجهد كبير ولذلك فإن هناك طريقة تسهل هذه العملية وتختصره من خلال المعادلة التالية :

$$م\ ق = \frac{ز\ أ - ز\ جـ}{ل} \times 100 = درجة / 100\ متر$$

(Ahnert, 1970)

حيث أن :

ل = مجموع أطوال المسافات المقاسه بالأمتار.

ز أ = درجة انحدار المسافة العليا.

ز جـ = درجة انحدار المسافة الدنيا.

.... ومن ثم فإن معامل التقوس بالنسبة للمثل السابق يكون ١٥,٢°/١٠٠ متر.

.... وللعلم فإن هذا المعامل يمثل متوسط معاملات التقوس للقراءات فى المثال السابق عند حسابها بالقانون السابق فى النقطة (٢).

فى النهاية يمكن القول بأن معامل التقوس من المقاييس الهامة لتحديد أجزاء القطاع الانحدارية وهو أكثر دقة من الوصف النظرى من خلال شكل القطاع البيان، وعموماً فإن قيمة معامل التقوس تكون صفراً فى حالة الأجزاء المستقيمة من القطاع بينما تكون القيمة موجبة للعناصر المحدبة وسالبة للعناصر المقعرة، ومن خلال نتائج هذا المعامل يكون تفسير أشكال المنحدرات الموجودة بمنطقة الدراسة وطبيعة العوامل الجيومورفولوجية التى أثرت فى المنطقة والتكوينات الجيولوجية والقراءات المناخية السائدة بالمنطقة لأن مثل هذه العوامل يكون لها الأثر الأكبر فى تغير شكل المنحدرات وتطورها خلال العصور المختلفة، هذا بالإضافة إلى إمكانية المقارنة بين منطقة الدراسة وأجزاء ومناطق أخرى مختلفة ثم دراستها من قبل والوقوف على عوامل الاختلاف بين المنطقتين وتفسير تلك النتائج من وجهة نظر الجيومورفولوجيا.

... وتأكيداً لما سبق فقد تم تطبيق مقياس التقوس على منحدرات منطقة الجلالة القبلية بالصحراء الشرقية - بمصر ::

وقسمها المؤلف إلى ثلاثة أقسام :

١) التقوس على منحدرات المنطقة بصفة عامة.

٢) التقوس على منحدرات جوانب الأودية بأجزائها المختلفة.

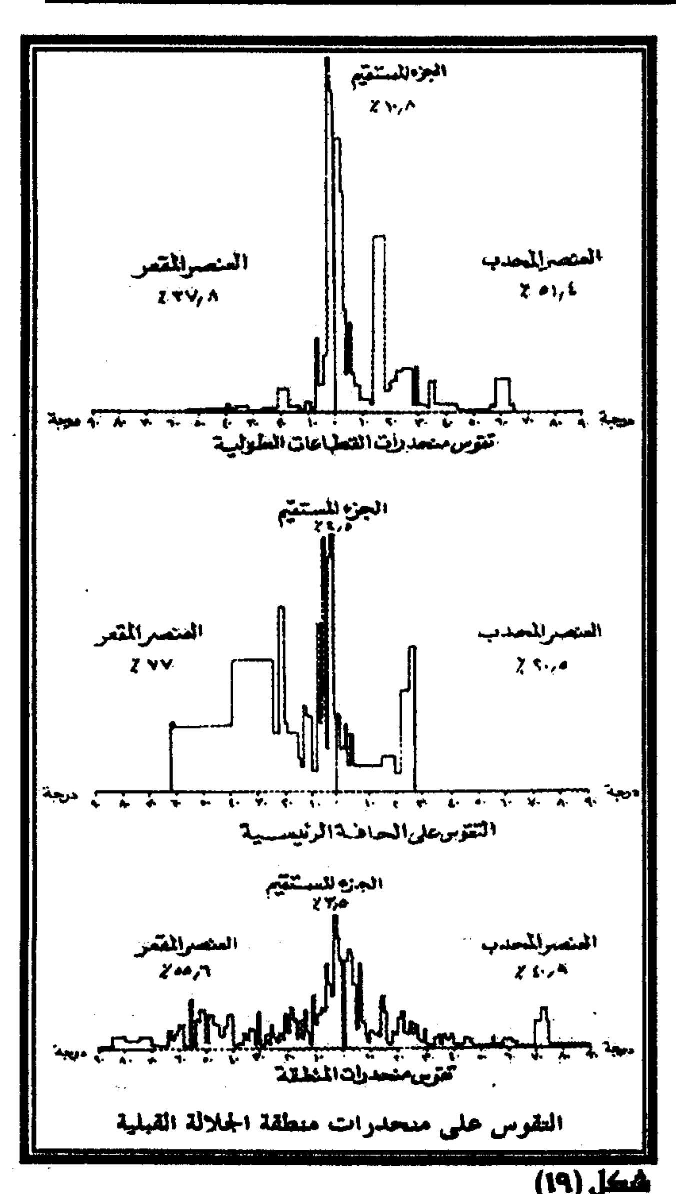
٣) التقوس على منحدرات الحافة الرئيسية.

٤) تقوس منحدرات القطاعات الطولية.

أولاً : تقوس منحدرات منطقة الجلالة القبلية :

جدول (٦) فئات التقوس والنسبة المئوية لأشكالها على منحدرات منطقة الجلالة القبلية

فئات التقوس (درجة)	شكل التقوس (الانحدار)	المسافة المحدبة: الطول (متر)	% من طول المسافات المحدبة	% من طول العنصر	المسافة المقعرة: الطول (متر)	% من طول المسافات المقعرة	% من طول العنصر
١ – ١٠	خفيف الانحدار	٣٨٤٤	٤٣,٦	١٧,٨	٥٤٣٩	٤٥,٣	٢٥,٢
١١ – ٣٠	متوسط	٣٠٦٤	٣٤,٧	١٤,٢	٢٨٩٧,٥	٢٤,٢	١٣,٤
٣١ – ٤٥	شديد	٦٩٠,٥	٧,٨	٣,٤	١١٠٩,٥	٩,٢	٥,١
أكثر من ٤٥	جروف	١٢٢٤	١٣,٩	٥,٧	٢٥٥٤,٥	٢١,٣	١١,٨
الإجمالي		٨٨٢٢,٥	١٠٠٪	٤٠,٩٪	١٢٠٠٠,٥	١٠٠٪	٥٥,٦٪



التقوس على منحدرات منطقة الجلالة القبلية

شكل (١٩)

من الجدول (٦) والشكل (١٩) اتضح ما يلي :

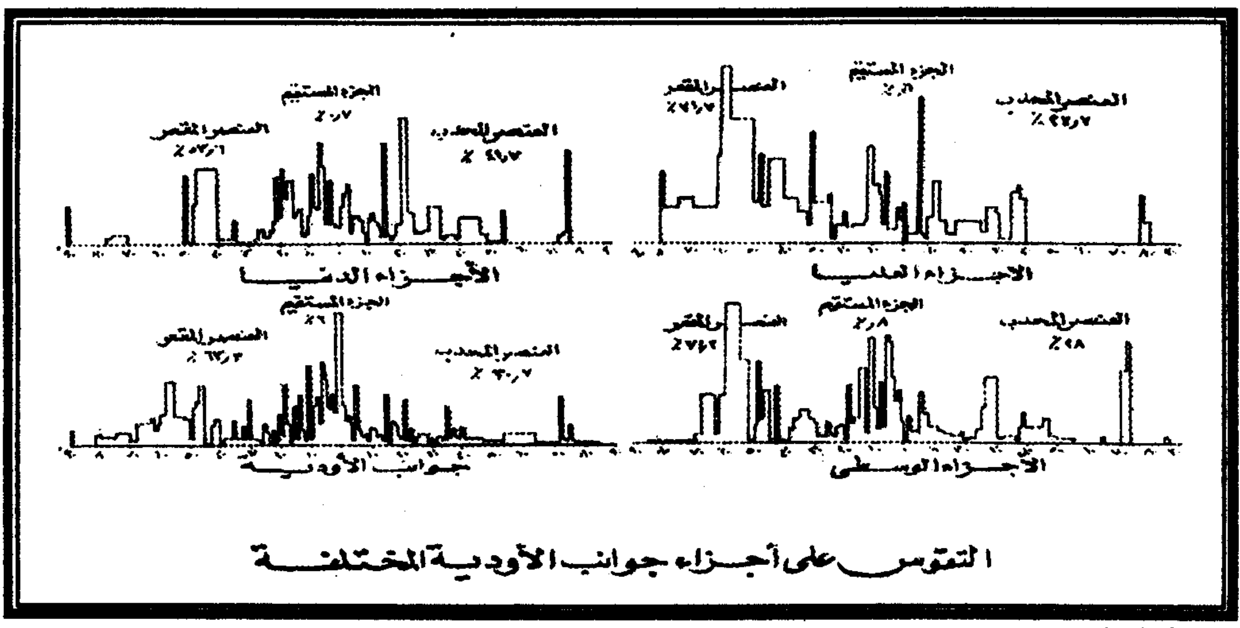
- تشكيل العناصر المقعرة نسبة ٥٥,٦٪ من أطوال القطاعات في المنطقة، في حين تستحوذ العناصر المحدبة على ٤٠,٩٪ بينما تنخفض نسبة الأجزاء المستقيمة إلى ٣,٥٪ وشيوع العناصر المقعرة يعد مؤشرا هاما على أن المياه الجارية كانت العامل الجيومورفولوجي الرئيسي في تشكيل سطح المنطقة، ويؤكد ذلك فينمان *FENEMAN* حيث ربط بين شكل المنحدر والظروف المناخية، ورأى أن الشكل المقعر يتطور في الأقاليم حيث تزداد مساحة الأجزاء الانحدارية المتأثرة بالماء الجاري، وأن الشكل المحدب ينشأ في الأقاليم الجافة بسبب اختلاف العمليات الجيومورفولوجية السائدة في الأقاليم المناخية المختلفة (سلامة، ١٩٨٧، ص ص ١٧ – ١٨) وإن كان أيضاً للحركات الأرضية ونوعية الصخر أثرها في أشكال المنحدرات.

- تشــغل فئات التقوس الخفيف الانحدار نسبة كبيرة على العناصر المقعرة والمحدبة حيث كانت فئة الــتقوس خفــيف الانحــدار ٤٣,٦٪ مــن العناصــر المحدبــة، بينما كانت نسبتها ١٧,٨٪ مــن طــول المسافات المقاسه، فى حين بلغت هذه الفئة ٤٥,٣٪ من طول العناصر المقعرة ونسبة ٢٥,٢٪ مــن إجمــالى المسافات، وهذا يعد مؤشرا على تقدم المنطقة فى دورتها المتحاتية وسيادة نشــاط عوامل التعرية وعمليات التجوية على طول قطاعات المنحدرات وان كان لنظام الصخر ونوعه أثره فى ذلك.
- ارتفــاع نســبة الفئات الدنيا فى كل من العناصر المقعرة و المحدبة، وانخفاض النسب فى الأجزاء الوســطى ثم تعــاود الارتفاع مرة أخرى فى الأجزاء العليا والجروف، وذلك لشيوع الزوايا من صــفر – ٣٠ درجــة وان كان هناك ارتفاع فى الأجزاء الوسطى فى الجانب المقعر لزيادة نسب العناصر المقعرة بصفة عامة فى المنطقة.
- تشــغل نســبة الجروف ١٣,٩٪ من أطول الأجزاء المقاسه من المسافات المحدبة ونسبة ٢١,٣٪ من أجــزاء المســافات المقعرة، فى حين شغلت منحدرات التقوس الشديد (٣١–٤٥ درجة) أقل الأجزاء حيث بلغت نسبتها فى العناصر المحدبة ٧,٨٪، بينما شغلت نسبة ٩,٢٪ من العناصر المقعرة .

(أ) التقوس على منحدرات جوانب الأودية :

جدول (٧ أ) فئات التقوس والنسبة المئوية لأشكالها على سفوح جوانب الأودية

فئات التقوس (درجة)	شكل التقوس (الانحدار)	المسافة المحدبـــة			المسافة المقعـــرة		
		الطول (متر)	٪ من طول المسافات المحدبة	٪ من طول العنصر	الطول (متر)	٪ من طول المسافات المقعرة	٪ من طول العنصر
صفر – ١٠	خفيف الانحدار	١٤٠٤	٣١,٥	٩,٧	٣١٠٧	٣٣,٦	٢١,٢
١١ – ٣٠	متوسط	١٥٨٢	٣٥,٥	١٠,٩	٢٤٠٨,٥	٢٦,٠	١٦,٦
٣١ – ٤٥	شديد	٧٣٣,٥	١٦,٧	٥,١	١٢٤٣	١٣,٤	١٨,٤
أكثر من ٤٥	جروف	٧٣٦	١٦,٥	٥,٠	٢٤٩١	٢٧,٠	١٧,١
الإجمـــــالى		٤٤٥٥,٥	٪١٠٠	٣٠,٧	٩٢٤٩,٥	٪١٠٠	٪٦٣,٣



التقوس على أجزاء جوانب الأودية المختلفة

شكل (٣٠)

من الجدول (٧) والشكل (٣٠) اتضح ما يلى :

- **تشغل العناصر المقعرة ٦٣,٣٪ من إجمالى القطاعات، بينما تشغل العناصر المحدبة ٣٠,٧٪ أى بنسبة ١ : ٢,١ ويرجع انخفاض النسبة إلى سيادة الجروف، ولأن العامل الرئيسى فى حفر وتشكيل هذه الأودية هى المياه الجارية، فى حين بلغت نسبة الأجزاء المستقيمة ٦٪ من إجمالى القطاعات.**
- **ترتفع نسبة الفئات الوسطى فى العناصر المحدبة ، نظرا لسيادة وارتفاع واجهات المصاطب النهرية حيث تشرف مباشرة على القاع، أما فى العناصر المقعرة فترتفع نسبة الفئات الدنيا بنسبة ٢١,٢٪ ، كما ترتفع نسبة الجروف إلى أكثر من ١٧٪ ومما يزيد من نسبة الجروف امتداد مخروطات الهشيم واتساع أسطح المصاطب دوره فى زيادة نسبة الفئات الدنيا.**
- **بلغت نسبة التقوس بمنحدرات جوانب الأودية (٠,٥) مما يشير إلى سيادة المنحدرات المقعرة على الأشكال المحدبة، وتتفق تقريبا مع نسبة التقوس على منحدرات المنطقة كلها، وذلك لأن العامل الرئيسى المشكل لمنحدرات وظاهرات المنطقة هى المياه الجارية بالإضافة إلى بعض العوامل الأخرى مثل الحركات الأرضية ونوع الصخر ونظامه والظروف المناخية السائدة. أما عن التقوس بالنسبة لأجزاء الأودية فيكون كالتالى :**

(١) التقوس على الأجزاء العليا للأوديه :

من الجدول (٧) والشكل (٣١) اتضح ما يلى :

- ترتفع نسبة العناصر المتقعرة إلى ٧١,٧٪ فى حين بلغت نسبة العناصر المحدبة ٢٧,٧٪ بينما وصلت الأجزاء المستقيمة إلى ٠,٦٪ .
- ترتفع نسبة الفئات الدنيا إلى ١١,٦٪ فى العناصر المحدبة ، بينما انخفضت نسبة هذه الفئات الدنيا إلى ١٦,٤٪ فى العناصر المقعرة، فى حين ترتفع العناصر المقعرة ذات التقعر الشديد جدا إلى ٣١,٨٪ فى الأجزاء العليا وقد يرجع ذلك لشدة استقامة المنحدرات وزيادة الركامات الكتلية شديدة الانحدار أسفل الأجزاء المرتفعة ذات الشكل الرأسى المستقيم.

جدول (٧ ب) نسبة التقوس على طول الأجزاء المختلفة لجوانب الأودية

شكل المنحدر	الأجزاء العليا ٪ من العنصر	الأجزاء الوسطى ٪ من العنصر	الأجزاء الدنيا ٪ من العنصر
مستقيم	٠,٦	٠,٨	٠,٧
محدب خفيف	١١,٦	٦,٥	١١,٣
محدب متوسط	٦,٨	٧,٩	٢١,٤
محدب شديد	٧,١	٣,١	٢,٠
شديد جداً	٢,٢	١٠,٥	٧,٠
جملة المحدب	٪٢٧,٧	٪٢٨,٠	٪٤١,٧
مقعر خفيف	١٦,٤	٢٧,٣	٢١,١
مقعر متوسط	١٣,٩	١٤,١	٢٠,٣
مقعر شديد	٩,٦	٨,٤	٤,٨
مقعر شديد جداً	٣١,٨	٢١,٤	٧.٤
جملة المقعر	٧١,٧	٧١,٢	٥٣,٦
نسبة التقوس	٠,٠٤	٠,٣٩	٠,٧٧

- ترتفع نسبة المنحدرات ذات التقعر المتوسط إلى ١٣,٩٪ ويرجع ذلك لطول المسافة التى تشغلها الأجزاء المغطاة بالمخروطات، وضيق المجارى المائية والتى تغطى فى معظم الأودية بالكتل الكبيرة التى تنهار من جوانب الأودية المرتفعة.
- بلغت نسبة التقوس على منحدرات القطاعات العليا للأودية ٠,٤٪ وهى نسبة ضئيلة جداً، مما تشير إلى سيادة المنحدرات المقعرة.

(٢) التقوس على الأجزاء الوسطى للأودية

من الجدول (٧) والشكل (٣١) اتضح ما يلى :

- ترتفع نسبة العناصر المقعرة إلى ٧١,٢٪ عن العناصر المحدبة التى نسبتها ٢٨٪ أما الأجزاء المستقيمة فتبلغ نسبتها ٠,٨٪ .
- ترتفع أيضا نسبة الفئات الدنيا بالنسبة للعناصر المقعرة إلى ٢٧,٣٪ فى حين تنخفض هذه الفئات الدنيا فى العناصر المحدبة لارتفاع نسبة الجروف إلى ١٠,٥٪ .
- كما ترتفع أيضا نسبة المقعرات الوسطى لوجود المصاطب مخروطات الهشيم فى هذه الأجزاء.

- تــرتفع نســبة المحدبــات الشــديدة جــداً فى الأجزاء العليا ويرجع ذلك بصفة عامة إلى عوامل الجاذبــة وارتطــام المطــر *Rain Splash*، واكتســـاح الركامات السطحية بفعل الغسل السطحى *Surface Wash*، لاســيما عــلى الســطوح العاريــة الخالــية من غطاءات نباتية وجدير بالذكر أن غالبية جوانب الأودية عارية تماماً من النباتات فى المنطقة وإن وُجِدَتْ فهى بصورة قزميه.
- بلغــت نســبة الــتقوس على طول قطاعات الأجزاء الوسطى للأودية ٠,٣٩ مما يشير إلى سيادة المنحدرات المقعرة على المنحدرات المحدبة.
- تــزيد نســبة الفــئات الوســطى والدنــيا على العناصر المحدبة وقد يرجع ذلك إلى أنها قريبة من مصدر المفتتات كما أنها تمثل السطح الأول الذى يتم عليه الترسيب.

(٣) التقوس على الأجزاء الدنيا للأودية :

من الجدول (٧) والشكل (٣١) اتضح ما يلى :

- تــرتفع نســبة العناصــر المقعــرة إلى ٥٣,٦٪ فى حــين تــبلغ نسبة العناصر المحدبة ٤١,٧٪ أما الأجزاء المستقيمة فتبلغ نسبتها ٠,٧٪ .
- تــزيد نســبة الفــئات الدنــيا والمتوسطة فى العناصر المحدبة و المقعرة على السواء، حيث بلغت نســبتها عــلى الترتيــب ٣٢,٧٪ و ٤١,٤٪، وذلك لزيادة المفتتات والركامات على جوانب الأوديــة واتســاع قــيعان الأودية، علاوة على أن الأودية فى هذه الأجزاء الدنيا تعكس مرحلة النحات الأخيرة والتى تزيد فيها المفتتات الدنيا والوسطى عنها فى الفئات العليا.
- تــزيد نســبة المحدبــات فى الأجــزاء الدنيا عنها فى الأجزاء العليا والوسطى للأودية، ويجب أن يكــون العكــس لكن تمثل القطاعات الدنيا مخارج الأودية من الحافة الرئيسة وهى تكون بصورة خانقــية شــديدة الانحــدار، ولــيس أدل على ذلك من تساوى نسبة الفئات الانحدارية الشديدة سواءً فى العناصر المحدبة أو العناصر المقعرة.
- ارتفعــت نســبة التقوس فى الأجزاء الدنيا للأودية إلى ٠,٧٧، مما يشير إلى سيادة الشكل المحدب بنسبة ١ : ١,٣ وهى أعلى نسبة على مستوى المنطقة.

اتضح من خلال خصائص التقوس على أجزاء الأودية المختلفة ما يلى :

- تــرتفع نســبة الفــئات الدنــيا والمتوسطة فى العناصر المحدبة والمقعرة حيث تشغل على الترتيب ١٨,٤ و ٣٠,٣٪ فى الأجــزاء العلــيا، ونســبة ١٤,٤٪ و ٤١,٤٪ مــن الأجزاء لوسطى، فى حــين تمــثل نســبة ٣٢,٧٪ و ٤١,٤٪ مــن الأجــزاء الدنيا، مما يعطى مؤشراً على زيادة مخــروطات الرواســب على جوانب الأودية، وتقدمها فى الدورة التحاتية وزيادة نشاط عمليات التجوية على منحدراتها المختلفة.

- تقل نسبة المجموعات التى تتميز بالتقوس الشديد سواء أكان محدباً أم مقعراً فقد بلغت نسبة درجات التقوس العليا الموجبة المحصورة بين ٣٠ – ٩٠ درجة. نحو ٩,٣٪ و ١٣,٦٪ و ٩٪ على الأجزاء العليا والوسطى والدنيا بالترتيب، فى حين بلغت درجات التقوس العليا السالبة المحصورة بين (–٣٠) – (–٩٠) درجة نحو ٤١,٤٪ و ٢٩,٨٪ و ١٢,٢٪ على الترتيب كما تقل نسبة الأجزاء المستقيمة على جميع أجزاء الأودية نظراً لضيق لمجارى المائية بصفة عامة، وزيادة رواسب السيول والانهيالات التى تملأ بطون الأودية.
- تتدرج نسبة التقوس فى الارتفاع من الأجزاء الدنيا إلى الوسطى فالعليا على الترتيب ٠,٠٤ ، ٠,٣٩ ، ٠,٧٧، ويلاحظ من خلال هذه النسبة انخفاضها فى الأجزاء الدنيا وارتفاعها فى الأجزاء العليا، ويرجع ذلك إلى اختلاف الخصائص الليثولوجية للتكوينات وأطوارها العمرية المختلفة وظروف الجفاف التى تتعرض لها المنطقة.
- تشغل العناصر نسبة ٧١,٧٪، ٧١,٢٪، ٥٣,٦٪ على الترتيب فى الأجزاء العليا والوسطى والدنيا، فى حين تمثل العناصر المحدبة على الترتيب ٢٧,٧٪، ٢٨٪، ٤١,٧٪ من جملة الأطوال، بينما استحوذت الأجزاء المستقيمة على نسب ٠,٦٪، ٠,٨٪، ٠,٧٪ على الترتيب، ويتضح من ذلك مدى سيادة الانحدارات المقعرة على جوانب الأودية وتتفق فى هذه مع منحدرات المنطقة، وهذا يُعَدُّ دليلاً على أثر المياه الجارية فى تشكيل منحدراتها حيث عملت على حفر وتعميق هذه الأودية.

(ب) التقوس على منحدرات القطاعات الطولية :

جدول (٨) فئات التقوس والنسبة المئوية لأشكالها على منحدرات القطاعات الطولية

فئات التقوس	خصائص التقوس	٪ من المسافات المحدبة	٪ من المسافات المقعرة	نسبة التقوس
صفر – ١٠	خفيف الانحدار	٣١,٩	٣٤,٤	
١١ – ٣٠	متوسط الانحدار	١٥,٠	٢,٥	
٣١ – ٩٠	شديد الانحدار	٤,٥	٠,٩	
الإجمالى		٥١,٤	٣٧,٨	١,٣

من الجدول (٨) والشكل (٣٠) اتضح ما يلى :

- بلغت نسبة العناصر المحدبة ٥١,٤٪ والعناصر المقعرة نسبة ٣٧,٨٪، أما الأجزاء المستقيمة فبلغت نسبتها ١٠,٨٪ وتختلف عن التقوس فى منطقة الدراسة، حيث يسود بها العناصر المحدبة نظراً لتعدد نقط تغير الانحدار، والتى ترتفع درجات انحدارها كثيراً نتيجة للاختلافات الليثولوجية للتكوينات، وتغير مستوى القاعدة للأودية خلا الفترات السابقة.

- ترتفع نسبة الأجزاء المستقيمة إلى ١٠,٨٪ وارتفاع هذه النسبة للأجزاء المستقيمة يرجع إلى وجود وحدات انحدارية طويلة ذات انحدار واحد تقريباً.
- ترتفع نسبة الانحدارات الخفيفة من (صفر – ١٠) درجة إلى ٣١,٩٪ من المسافات المحدبة ونسبة ٣٤,٤٪ من المسافات المقعرة، في حين تمثل فئة الانحدار المتوسط (١١ – ٣٠) درجة نسبة ١٥٪ من العناصر المحدبة ونسبة ٢,٥٪ من العناصر المقعرة، أما الانحدارات الشديدة (٣١ – ٩٠) درجة فتقل نسبتها عن ٥,٤٪.
- بلغت نسبة التقوس ٣,١٪ مما يؤكد سيادة المنحدرات المقعرة – المحدبة والتي تمثل نقط تغير الانحدار. من الشكل (٢٠) يلاحظ ما يلي :
  - تتميز القطاعات الطولية للأودية بأنها تسير في شكل مقوس دون أي تغير واختلاف في الشكل باستثناء بعض نقاط تغير الانحدار الخفيفة كما في قطاع وادي أم عنبة وروافد وادي أركاس ووادي أبو غرادق، نظراً لأن منابعهم من الحافة الرئيسة حيث أطوالهم قليلة وبالإضافة لتجانس التكوينات على طول هذه الأودية مما عمل على انتظام قطاعاتها الطولية.
  - تزيد نقط تغير الانحدار على طول قطاع وادي أبو عظام ووادي العبيد، نظراً لأن وادي أبو عظام في مرحلة متقدمة من دورته للتعرية، علاوة على أنه ينبع من مناطق مرتفعة (تزيد عن ١٠٠٠ متر) بالإضافة إلى الاختلافات الليثولوجية للتكوينات. تغطي معظم القطاعات الطولية برواسب السيول الحديثة الناعمة والخشنة أحياناً لاسيما في أعالي الأودية.

(جـ) التقوس على الحافة الرئيسة :

جدول (٩) فئات التقوس والنسبة المئوية لأشكالها على جوانب الحافة الرئيسة

فئات التقوس (درجة)	شكل التقوس (الانحدار)	المسافة المحدبة			المسافة المقعرة		
		الطول (متر)	٪ من طول المسافات المحدبة	٪ من طول العنصر	الطول (متر)	٪ من طول المسافات المقعرة	٪ من طول العنصر
١ – ١٠	خفيف الانحدار	١١٥	٣٧,٦	٧,٧	٦٨٥	٦٠,٣	٤٦,٢
١١ – ٣٠	متوسط	٩١	٦٢,٤	١٢,٨	٣٨١	٣٣,٥	٢٥,٥
٣١ – ٤٥	شديد	—	—	—	٣٠	٢,٧	٢,٦
أكثر من ٤٥	شديد الانحدار	—	—	—	٤٠	٣,٥	٢,٧
الإجمالي		٣٠٦	١٠٠٪	٢٠,٥٪	١١٣٦	١٠٠٪	٧٧,٠٪

من الجدول (٩) والشكل (٣١) اتضح ما يلي :

- بلغت نسبة العنصر المحدب على جوانب الحافة ٢٠,٥٪ في حين بلغت نسبة العنصر المقعر ٧٧٪، أما الأجزاء المستقيمة فكانت نسبتها ٢,٥٪.

- شغلت الانحدارات الخفيفة (١ – ١٠ درجة) نسبة ٣٧,٦٪ من العنصر المقعر ونسبة ٤٦,٢٪ من المسافات الكلية، أما المحدبات المتوسطة (١١ – ٣٠ درجة) فبلغت نسبتها ١٢,٨٪ حيث كانت نسبة المقعرات المتوسطة ٢٥,٥٪ من جولة الأطوال وقد يرجع ذلك لطول المسافات التى تغطيها مخروطات الهشيم وأسطح البيدمنت وأسطح المراوح الفيضية ذات الانحدار الخفيف، مما يشير إلى أن منحدرات الحافة الرئيسة تمر بمرحلة التطور الأخيرة.
- شغلت أيضاً المقعرات الشديدة والشديدة جداً (٣١ – ٩٠ درجة) نسبة ٥,٣٪ من المسافات المقاسة، فى حين لم تظهر أى نسب تذكر للمحدبات الشديدة والشديدة جداً.
- كما بلغت نسبة الأجزاء المستقيمة ٢,٥٪، وتمثلت فى المكاشف الجيرية التى تقف فى صورة جروف على طول الحافة الرئيسة.
- بلغت نسبة التقوس ٠,٢٦٪ وهذا مؤشر على سيادة المنحدرات المقعرة على مثلها كما فى جوانب الأودية، ووضوح أثر المياه الجارية فى تشكيل منحدرات الحافة الرئيسة مثلها مثل جوانب الأودية ومنحدرات منطقة الدراسة.

استنتاج تطور المنحدرات :

يعتقد المؤلف بأن الدراسة المورفولوجة للمنحدرات لا ينبغى أن تقتصر على وصف أشكالها فقط، بل ينبغى معرفة تطورها وتفسير أنماط هذا التطور والوقوف على أهم العمليات والعوامل الجيومورفولوجية التى أثرت فى تشكيلها، حتى أصبحت على صورتها الحالية.

ويقصد بتطور المنحدرات تغير أشكالها مع مرور الزمن، ولكى يتم معرفة وتتبع تطور المنحدرات يتطلب المر عمل بعض النماذج التى توضح كيفية تطورها ومعرفة العوامل التى أسهمت فى تشكيلها وتطورها مثل التكوين الجيولوجى والظروف المناخية فى الماضى والحاضر، هذا بالإضافة إلى معرفة الأشكال الحالية للمنحدرات وخصائص زوايا الانحدار بها وطبيعة الزوايا الشائعة عليها، وللعلم فإن ببناء مثل هذه النماذج من الصعوبة بمكانة لمعرفة مراحل تطور المنحدرات.

هذا وقد اجتهد العديد من الجيومورفولوجين للتغلب على صعوبة دراسة مراحل تطور المنحدرات وذلك طرقة وضع نماذج مختلفة(*) خاصة بأشكال المنحدرات وما يعتريها من تغير خلال مراحل تطورها والهدف من ذلك يتمثل فى تفهم تطور أشكال المنحدرات خلال تاريخها الجيومورفولوجى الذى يصعب تتبعه بالقياس من الطبيعة (محمد صبرى محسوب، ١٩٩٧، ص ١٣٢)، وقد أورد ينج *Young, 1972* طريقة تطور المنحدرات وتراجعها حسب الفرضيات الثلاثة التى طورها الجيومورفولوجيون لدراسة تطور المنحدرات (يحيى فرحان، بدون، ص ص ٩٠ – ٩٢) كالتالى :

(*) من هذه النماذج :

- Wood's Model
- Caine's Model
- Young Model
- Penk's Model

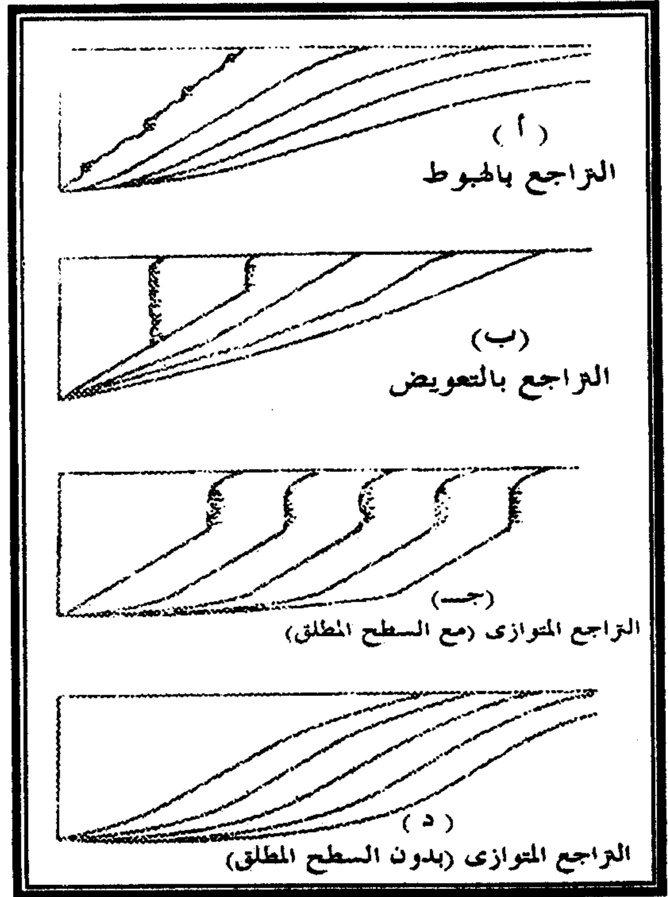
وللاستزادة أنظر : (Young, 1972).

(١) الفرضية الأولى :

ترى أنه إذا تراجع المنحدر فى جميع النقاط بنفس المقدار فإن هذا يعرف بالتراجع المتوازى للمنحدر، شكل (٢١).

(٢) الفرضية الثانية :

ترى أنه فى حالة بقاء القسم الأسفل من القطاع ثابتاً فى حين يتراجع القسم العلوى منه، فإن المنحدر يتراجع بطريقة الهبوط *Slope Decline* حيث تتناقص درجات الانحدار على الطول الكلى للقطاع جنباً إلى جنب مع تناقص ارتفاع المنحدر.



شكل (٢١) تراجع المنحدرات عن: يحيى فرحان ص٩٢

(٣) الفرضية الثالثة :

ترى أنه إذا تراجع قطاع الانحدار فى جميع نقاطه وكان معدل التراجع فى القسم العلوى منه أكبر من معدل تراجع الجزء السفلى فإن عملية التراجع تلك تتم بطريقة التراجع المتوازى والتراجع بالهبوط، وقد يتم تراجع المنحدر بطريقة التقويض أو الإحلال *Slope Replacement* وفيه يقل الميل الأفقى للقطاع ويعوضه فى المقابل تكون وحدة انحدارية خفيفة الانحدار أسفله، ويؤدى هذا النمط من التراجع إلى تحول القمم الأكبر فى القطاع إلى عنصر انحدارى مقعر متصل أو متقطع.

وفى هذا يرى (فرحان، بدون، ص ٩١)، أنه عند تراجع المنحدر بطريقة التعويض فإن العنصر المقعر بشكل نسبة ٦٠٪ من الطول الكلى للقطاع، بينما لا يزيد طول العنصر المحدب عن ٥٪ من الطول الكلى لقطاع، أما عندما يتراجع المنحدر بطرقة الهبوط فإن العنصر المحدب بشكل حوالى ٢٠٪ من الطول الكلى للقطاع بينما يزيد العنصر المقعر فى أغلب الأحوال عن ١٠٪ من الطول الكلى للقطاع.

... ولكن هذه الفرضيات التى وضعها كل من وود *Wood* وبنك *Penk* يشوبها النقد حيث أنها تتطلب شروطاً معينة، يصعب توافرها وانتظامها فى الطبيعة، فمثلاً يتطلب نموذج كل من وود وبنك شروطاً مثالية أهمها :

١) تجانس التركيب الصخرى للمنحدر الأصلي.
٢) التجوية وهى العامل الوحيد فى نحت الواجهة الصخرية والانهيارلات الأرضية هى الوسيلة الوحيدة لنقل المفتتات الناتجة عن هذه التجوية.
٣) تجانس معدلات التجوية على طول سطح الواجهة.
٤) افتراض عدم تغير الظروف المناخية أو مستوى القاعدة.
٥) وجود مساحة كبيرة منبسطة عند قاعدة المنحدر تتلقى الرواسب المنهارة.

... من خلال تحليل المؤلف ودراسته للمنحدرات على القطاعات الميدانية التى تم قياسها على منحدرات الحافة الشمالية لهضبة الجلالة الجنوبية (الحافة الرئيسية، جوانب الأودية) (أحمد ضاحي، ١٩٩٩، ص ص ١٣١ - ١٣٢).

اتضح أن أشكالها تتباين على قطاعات الحافة الرئيسية عنها على قطاعات جوانب الأودية حيث كانت معظم انحدارات جوانب الأودية شديدة الانحدار لاسيما على مكاشف الحجر الجيرى الأيوسينى التى تقف فى صورة واجهات حرة ***Free Face*** على جوانب الأودية، ونظراً لشدة تأثرها بمجموعة من الفواصل والشقوق مما أدى إلى انهيارها لاسيما بعد تعرضها للأمطار ومن ثم تعرضت للتراجع، وقد يتباين هذا التراجع على أجزاء الأودية المختلفة، فيكون على الأجزاء العليا والوسطى فى شكل تراجع متوازى مع وجود سطح مطلق نظراً لشدة انحدار جوانبه وزيادة تعميق مجاريه فيظهر قطاعه العرضى على هيئة حرف (V) ، على عكس الأجزاء الدنيا حيث تتسع الأودية وتزيد الانهيالات الأرضية الناعمة وتقل حركة المواد على المنحدرات لذا يقتصر التراجع فقد على الأجزاء التى تمثل الواجهة الصخرية من صخور الحجر الجيرى الأيوسينى فى كل الأودية تقريباً.

أما بالنسبة للحافة الرئيسية فإن غالبية جوانبها تكون ذات انحدارات خفيفة وتزيد العناصر المقعرة فيها على ٧٧٪ من إجمالى القطاعات ومن هنا تكون طريقة تراجعها بطريقة التعويض والإحلال، وذلك لاتساع سطح البيدمنت، ومثل هذه السطوح تعد اكبر دليل على فعل المسيلات المائية والفيضانات الغطائية التى تنتاب الحافة الرئيسية حيث عملت على تآكل وتراجع الواجهة الصحراوية وزيادة المفتتات أسفلها وزاد من امتداد هذه المفتتات أيضاً تلك الأمطار الغزيرة التى تعرضت لها المنطقة أثناء الفترات المطيرة فى البلايستوسين بالإضافة إلى السيول الحديثة مما عمل على تحرك المواد المفتتة أسفل منحدرات الحافة الرئيسية.

هـــذا وتختـــلف طـــريقة تطـــور وتـــراجع المنحدرات فى المنطقة، وذلك حسب المراحل العمرية والظـــروف الجيومورفولوجـــية والتكتونـــية الـــتى تمر بها الأودية من خلال الظروف الجغرافية والحركات الأرضـــية أثـــناء الميوسين والظروف المطيرة خلال البلايستوسين نشطت على أثرها الأودية واحدث تعمق وتكـــون مجاريهـــا، ومـــن ثم أصبح شكل الوادى على هيئة شكل (V) ذو جوانب شديدة الانحدار. ومع هـــذا الانحـــدار الشـــديد للجوانـــب، لم تـــتكون مفتتات وانهيالات أرضية، ومن ثم لم يكن هناك تراجع لـــلحواف بصـــورة كـــبيرة، وإنما كان فى صورة تراجع متواز، أى أن كل أجزاء المنحدر حدث لها تراجع وتبدو آثار هذا التراجع فى الكتل الكبيرة المنهارة التى تملأ قيعان أعالى معظم الأودية.

ومـــع تطـــور الظـــروف الجغرافـــية زادت المـــواد المنهارة والمفتتات على جوانب الأوديه واتســـعت الأجـــزاء المغطاة بالمفتتات لاسيما فى الأجزاء الوسطى والدنيا من الودية وأخذ نقل كثيراً الجـــزء المســـتقيم مـــن جوانب أجزاء الأودية الوسطى والدنيا ومع تعرض المنطقة فيما بعد لظروف الجفاف ونشاط عوامل التجوية أصبح التراجع هذا عن طريق التعويض والإحلال.

والدلـــيل عـــلى تعاقـــب الجفـــاف والمطـــر بمنطقة الجلالة القبلية بالصحراء الشرقية بمصر، تعـــدد ظاهـــرة المصـــاطب وانتشـــارها على جوانب الأودية، وزيادة منحدرات نقط تغير الانحدار، واتســـاع كـــبير فى نطـــاق البيدمنت والتى يشير اتساعها على تكونيها فى فترات أكثر مطراً، حيث كانـــت المـــياه تشغل أكبر مساحة من الأودية التى تقطع المنطقة، كما يفصل سطح البيدمنت من أعلى جـــزء أكـــثر ارتفعـــاً واشـــد انحـــداراً بمعنى أن زاوية الاتصال بين السطحين تكون حادة ويرجعها مـــابوت ***Mabbutt*** إلى ظروف شبه جافة (***Mabbutt, 1997, p.85***) مع مراعاة أن هذه الزاوية ليست ثابتة بل تختلف من قطاع لآخر حسب خصائص الانحدار.

... ومـــن خـــلال مـــا سبق يمكن القول أن هناك تبايناً فى أشكال المنحدرات وتطورها على مســـتوى مـــنطقة الجلالة القبلية ومن ثم اختلفت معها طريقة تراجعها وتطورها فكان تراجع متوازى عـــلى الأجـــزاء العليا وبعض الأجزاء الوسطى، بينما كانت طريقة التراجع بالإحلال والتعويض على الأجـــزاء الدنـــيا ومنحدرات الحافة الرئيسية، كما أن للظروف الجغرافية والجيولوجية والمناخية أثرها فى تشكيل وتكور منحدرات منطقة الجلالة القبلية بالصحراء الشرقية بمصر.

تقييم المنحدرات وتحديد أشكالها :

... مـــن خـــلال العـــرض السابق لدراسة منحدرات وتحليل قطاعاتها كمياً من حيث تحليل زوايـــا الانحـــدار ومعـــدلات الـــتقوس أمكن معرفة تطورها ومن خلال هذا التطور والتحليل الكمى للمـــنحدرات يمكـــن الوقـــوف عـــلى تقيـــيم وتحديد أشكال المنحدرات والتى تمثل الصورة النهائية لنموذج دراسة المنحدرات التى تبنته الدراسة الحالية.

أوضحت دراسة المنحدرات بمنطقة الجلالة القبلية بالصحراء الشرقية بمصر أنها تمتد على مسافات متباينة على طول القطاعات، ويذكر إمبابى (١٩٧٢، ص ٨٤) أن المنحدرات التى تمتد على مسافات طويلة يطلق عليها منحدرات كبيرة فى حين تشغل الأشكال الدقيقة مسافات قصيرة.

هذا وقد تم تقسيم المنحدرات وتحديد أشكالها فى الصورة التالية:

(١) المنحدرات الكبيرة : والتى تنقسم إلى :

(أ) المنحدرات المحدبة – المقعرة : *Convex - Concave Slopes*



لوحة (١١) المنحدرات المحدبة – المقعرة

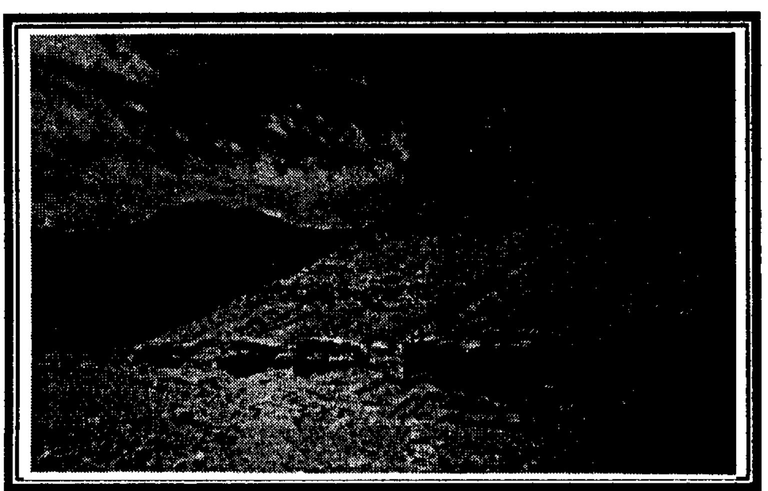
يظهر هذا النوع من المنحدرات على القطاعات التى تم قياسها ميدانياً، فتظهر على جوانب الأودية والحافة الرئيسية، كما يظهر أيضاً على أجزاء الأودية المختلفة لاسيما فى القطاعات الوسطى ويفسر تكرار حدوث التقعر والتحدب والاستقامة فى ضوء نوعية الصخور وتبادل الطبقات الصخرية الصلبة والهشة ومدى نفاذيتها وخصائص الرواسب السطحية ونوع العملية الجيومورفولوجية السائدة والبنية الجيولوجية، فالتقعر يرتبط بالصخور غير المنفذة وبالرواسب السطحية الناعمة المتراكمة على المنحدرات ويتكون أيضاً فى ظل سيادة الجريان المائى المركز، كما يتكون فى ظل سيادة الجريان المائى غير المركز فى حين ترتبط الأجزاء المستقيمة بالصخور الصلبة والرواسب السطحية المتنوعة الأحجام.

ومن خلال تحليل معدلات التقوس لجوانب الأودية بلغت نسبة العناصر المقعرة ٦٣,٣٪، أما العناصر المحدبة فبلغت نسبتها ٣٠,٧٪ والأجزاء المستقيمة ٦٪ شكل (٢٢) وتأكيداً لأسباب تكرار التحدب والاستقامة والتقعر فإن ظروف الأمطار الشديدة أثناء الفترات المطيرة فى البلايستوسين والسيول الحديثة فى الوقت الحالى عملت بدورها على تحليل وتفكك الصخور المشكلة لجوانب الأودية، وتشير الدلائل على أن المياه كانت تسير على جوانب الأودية فى صورة غطاء من المياه أو ما يسمى بالجريان الانتشارى والذى يعمل على التقاط ما يصادفه من فقدنات وبالاتجاه نحو أسفل المنحدر تزداد كمية المياه، ومن ثم تزيد معها كمية المفتتات التى تحملها

وبالـــتالى يزيد مقدار النحت ويزيد معه الانحدار ومن هنا كانت الأجزاء العليا من المنحدرات محدبة، أمـــا الأجزاء الدنيا فيصبح نمط الجريان مركزاً ويساهم بدوره فى حصر خطوط تصريف ذات انحدار مقعـــر وبإرســـابه للمفتـــتات على الأجزاء الدنيا من المنحدرات يتكون الشكل المقعر، أما فى الوقت الحـــال فيقتصـــر دور السيول الحديثة على تعديل المنحدرات المحدبة – المقعرة عن طريق إطالة المحدبة والمقعرة بواسطة الرواسب التى تحملها من أعالى المنحدرات.

... وقـــد اتضـــح مـــن خـــلال دراســـة خصـــائص معـــدلات الـــتقوس أن المنحدرات المحدبـــة – المقعـــرة هـــى أكـــثر أشـــكال المـــنحدرات شيوعاً بالمنطقة ويرجع ذلك إلى أن العامل الجيـــومورفولوجى الرئيســـى المســـئول عـــن تكـــون وتشـــكيل هـــذه المنحدرات هو المياه الجارية (أحمد ضاحى، ١٩٩٩، ص ١٢٠).

(٣) منحدرات الجروف – المقعرة : *Cliff - Concave Slopes*



لوحة (١٣) منحدرات الجروف – المقعرة

أوضـــحت دراسة المنحدرات بمـــنطقة الجلالـــة القبلـــية بالصـــحراء الشـــرقية أيضـــاً أن النســـبة المـــئوية لـــلجروف(*) بالنســـبة لطول القطاعات تخـــتلف من قطاع آخر حيث تراوحت بـــين ٢,٠٪ و ٧٤,٤٪ ، نفـــس النســـبة مـــن مـــنحدرات المنطقة حيث بلغـــت ٤٤,٣٪ عـــلى جوانب الأودية و ٣٣,٩٪ وقـــد تباينـــت عـــلى منحدرات جوانـــب الحافـــة الرئيسية فى حين بلغت نسبتها ١,١٪ على منحدرات القطاعات الطولية ويفســـر هـــذا التـــباين باختلاف الخصائص الليثولوجية للتكوينات على طول كل قطاع وأيضاً للعمليات الجيومورفولوجية والتى تعد من أهم العوامل المؤثرة *(Young, 1972)*.

هـــذا وتـــنخفض نســـبتها عـــلى طول القطاعات الطولية للأودية انخفاضاً واضحاً لاسيما القطاعـــات الدنـــيا بصفة خاصة، كما تفسر قلة الجروف أيضاً على منحدرات أجزاء الدنيا وبعض أجزاء الأودية الوسطى.

(*) الجـــروف : هـــى تلك الأجزاء من المنحدرات التى تزيد زاوية انحدارها عن ٤٥ درجة، ويتكون شكل الجروف – المقعرة من قمم الدرجة القصوى ٤٠ْ وعنصر مقعر يشغل الجزء السفلى من المنحدر.

جدول (١٠) الخصائص الكمية للجروف بالمنطقة

المنحدرات / الخصائص	منحدرات جوانب الأودية	منحدرات الحافة الرئيسية	منحدرات القطاعات الطولية	منحدرات منطقة الدراسة
عدد القطاعات	٢٤	٣	٣	٣٠
عدد الجروف	١١٠	٦	٩	١٢٥
مجموع أطوال الجروف (متر)	٥٤٤٨,٥	٢٥٥	٣٩,٥	٥٧٤٣
متوسط أطوال الجروف	٥٤,٦	٤٤,٢	٤,٦	٣٤,٥
نسبة الجروف على طول القطاعات	٤٤,٣٪	٣٣,١٪	١,١٪	٢٦,٢٪

(*) الجدول من إعداد المؤلف.

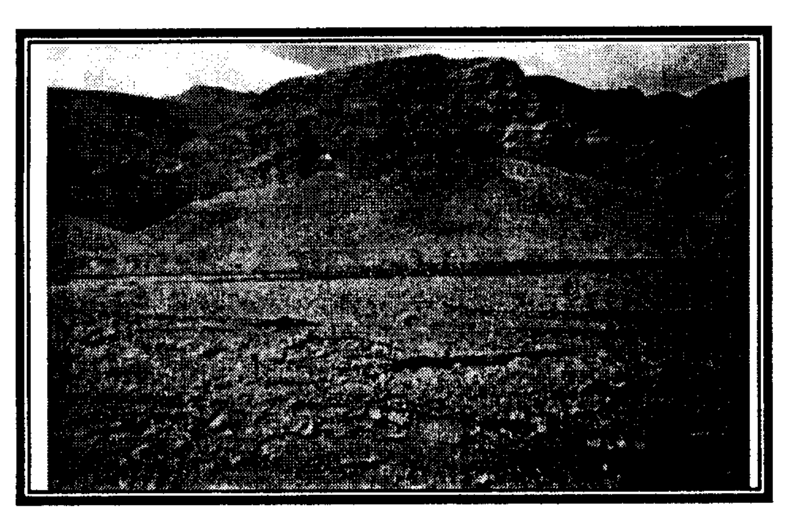
إلى أنها مـرت بمراحل مورفولوجية تختلف عما عداها ، فبعد أن شقت المياه مجارى الأودية خـلال فـترات مطـيرة سابقة، عملت التجوية على تراكم المفتتات الصخرية على جوانب الأودية – فى فـترات جفـاف تالية – وأخفت ما تحتها من صخور صلبة مما عملت هذه المفتتات على التقليل من شدة الانحدار.

تجـدر الإشـارة إلى أن مـثل هـذه المـنحدرات تزيد فى المواضع التى تكثر فيها الشقوق والفواصـل العموديـة فيها أو الموازية للطبقات والتى تمثل مسرحاً لنشاط عمليات التجوية وحدوث الانهـيالات الأرضـية الـناتجة عن العمليات السابقة، وتساقط الكتل الكبيرة أسفل هذه الجروف مما يؤثـر عـلى تـراجع هـذه المـنحدرات المستقيمة الشكل، حيث ينكشف السطح الجديد، ويكون مسـرحاً لنشـاط عملـيات الـتجوية مـرة أخرى تغطى المفتتات السطحية نسبة كبيرة من أطوال المـنحدرات، وهـذا يشـير إلى دور التجوية فى تشكيل المنحدرات وإن كانت هناك بعض أجزاء من القطاعات لا تغطى بالمفتتات ويرجع ذلك إلى عدم استقرارها بسبب شدة الانحدار.

هـذا وقـد تلعـب المـرحلة العمرية دوراً هاماً فى زيادة أو قلة الجروف ففى أعالى الأودية حيـث سيادة مرحلة الشباب وحدوث عمليات النحت الرأسى للمجارى المائية ويحدث أيضاً تفكك للصـخور المرتكـزة عـلى جانـب الـوادى من هنا يزيد انحدار الأجزاء العليا من المنحدر وتكون الجـروف. أمـا الأجـزاء السـفلية منه فتكون ذات شكل مقعر قصير نسبياً، أما الأجزاء الوسطى والدنـيا للأوديـة حيـث مرحلة الشيخوخة فيزداد طول الأجزاء المقعرة، وتقل نسبة الجروف نتيجة للـتراجع الشـديد لها مع تغطية الجزء الواقع أسفلها بالمفتتات مما يصبح أقل عرضة لعمليات التجوية وإنما يزيد نشاطها فقط على الأجزاء العليا المكشوفة.

بالإضـافة إلى مـا سـبق فقـد أوضحت الدراسة مدى ارتباط هذا النوع من المنحدرات بالصـخور المتبايـنة والمتـبادلة مع بعضها، وهذا يتفق مع ما توصلت بع العديد من الدراسات على الصحراء الشرقية (أمين، ١٩٨٧، ص ٢٧٩).

(٣) المنحدرات شبه السلمية : *Step-Like Slopes*



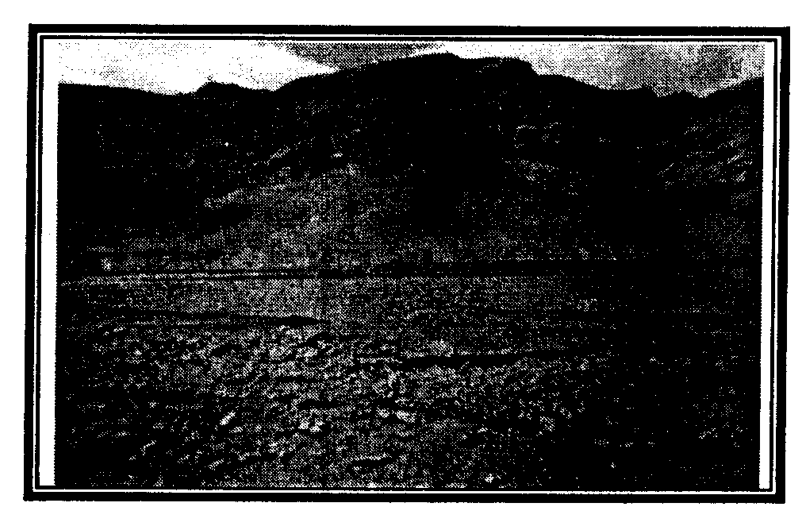
لوحة (١٣) المنحدرات شبه السلمية

تتكون هذه المنحدرات من أكثر من تتابع من تتابعات المنحدرات لوحة رقم (١٣)، وهى أيضاً مركب من المنحدرات المحدبة والمقعرة ومنحدرات الجروف – المقعرة، ويظهر هذا التتابع على منحدرات قطاعات أواسط أودية أم حماضة وأدنى أم خيشر وأم دمرانة وقطاع أدنى وادى أسخر، ويتخلى هذا التتابع هنا فى صورة مصاطب أودية تشكل كل مصطبة فيها طور من أطوال التطور والنمو للوادى محاولاً أن يصل فى كل طور إلى مستوى قاعدته (وادى عربة)، وبالتالى يبدأ فى النحت الرأسى تاركاً على جانبيه مصاطب تشير ارتفاعاها على عمق المياه فيه، كما أن أعلى هذه المصاطب يعد أقدم طور من أطوار النمو من حيث النشأة، ولا يقتصر الأمر على ما سبق فقط ولكن قد يكون سبب التتابع يرع إلى الاختلاف فى التركيب الجيولوجى والبنية الجيولوجية حيث تميل الطبقات ميلاً خفيفاً ويحدث هنا تبادل فى الطبقات الصخرية الصلبة واللينة وتظهر فى صورة مدرجات صخرية كما هو فى أدنى وادى الخرزة ويختلف طول واتساع كل درجة حسب الخصائص الليثولوجية للتكوينات (سمك الطبقات) وكذلك الفترة الزمنية التى قطعتها مرحلة التطور التى مرت بها المنطقة خلا العصور الجيولوجية المختلفة.

... هنا وقد اتضح من خلال الدراسة أن هذا الشكل من أشكال المنحدرات يكثر وجوده بالمناطق الدنيا والوسطى من الأودية والمناطق التى تعرضت لحركات أرضية متتابعة تظهر كل حركة فى صورة درجة سلم ويختلف اتساعها وانحدارها حسب قوة هذه الحركة وطبيعة التكوينات الجيولوجية نفسها وعوامل التعرية وعمليات التجوية فيما بعد.

(٤) المنحدرات المستقيمة : *Rectilinear Slopes*

اتضح من خلال الدراسة التى أجراها المؤلف على منحدرات منطقة الجلالة القبلية أنها ترتبط بالأجزاء العليا من القطاعات أسفل وحدة القمة *Crest Unite* حيث تغطيها الرواسب والمفتتات المتنوعة الأحجام لوحة رقم (١٤) حيث أطلق كل من *Strahler, Small (1977)* على الجزء الواقع أسفل الواجهة الحرة *Free Face* المغطى بالمفتتات بالمنحدرات المستقيمة ولكن اختلفا فقط فى كونه منحدر إرساب أم تعرية وقد أعتبره *Small* أنه منحدر نحت حيث يذكر أن ***Rectilinear Slopes can be essentially denudational forms underlain by Soil Rocks . (Small, 1977, p.192)***



لوحة (١٤) المنحدرات السلمية

هــذا وقد أوضحت الدراسة الميدانية التى قام بها المؤلف أن مثل هذه المنحدرات ترجع إلى الــتعرية والنحــت عــن طــريق المياه وليس أدل على ذلك من أن معظمها غير مغطى بالرواسب وصخوره تبدو مكشوفة.

ومــن خلال تحليل معدلات التقوس لمنحدرات المنطقة أتضح أن المنحدرات المستقيمة تمثل قلــيلة مقارنــة بالعناصر المحدبة والمقعرة حيث شغلت نسبة ٣,٥٪ على مستوى منحدرات المنطقة. وقــد تباينــت نسبتها أيضاً على مستوى أجزاء الأودية فزادت فى الأجزاء الدنيا والوسطى عنها فى الأجــزاء العلــيا (وهــذا يشذ عن القاعدة العامة التى توضح أنها تزيد فى القطاعات العليا)، ويرجع ذلــك إلى أن معظــم القطاعــات على الأجزاء الدنيا كانت عند مخرج الأودية من الحافة الرئيسية المــرتفعة والشــديدة فى انحدارها مثلها مثل الأجزاء العليا. هذا وقد ارتفعت نسبتها إلى ١١٪ على مــنحدرات القطاعــات الطولــية للأوديــة نظــراً لاستواء معظم قيعان الأودية وقلة الاختلافات الليثولوجية على طول معظم القطاعات الطولية.

... وتجــدر الإشــارة إلى أن زيادة المنحدرات المستقيمة فى أعالى الأودية ترجع فى حقيقة الأمر إلى أنها تمثل مناطق انحدار شديد حيث النحت الرأسى وشكل قطاع الوادى على هيئة حرف (V).

(ب) الأشكال الدقيقة :

تــرجع هــذه الأشــكال الدقيقة إلى أنها انعكاس واضح للاختلافات المحلية الدقيقة فى بنية الصــخور ونطاقهــا وعوامل التشكيل الخارجية المؤثرة فيه وهى تبدو على طول القطاعات فى صورة متابعات صغيرة نسبياً.

وقــد أمكــن تقسيم الأشكال الدقيقة التى تم ملاحظتها ميدانياً على منحدرات المنطقة طبقاً لعوامل تشكيلها إلى الآتى :

١) الأشكال الناتجة عن تأثير الاختلافات الليثولوجية للتكوينات.
٢) الأشكال الناتجة عن تأثير التفكك الميكانيكى وتأثير الجاذبية.
٣) الأشكال الناتجة عن الإرساب الهوائى.

(١) الأشكال الدقيقة الناتجة عن تأثير الاختلافات الليثولوجية للتكوينات :

الأرصفة الصخرية الدقيقة :



لوحة (١٥) الأرصفة الصخرية الدقيقة

يترتب على الاختلافات الليثولوجية للتكوينات حدوث ما يسمى بالتجوية المتغايرة حث تعمل على تفكك الأجزاء اللينة بصورة أكبر وترك الأجزاء الصلبة ممتدة ولكن فى صورة أفقية، فتبدو على هيئة منحدرات سلمية، تظهر بصفة خاصة فى تكوينات الحجر الجيرى والمار كما فى قطاع أدنى وادى الخرزة لوحة رقم (١٥)، وفى أعلى قطاع وادى أم خيشر حيث يبلغ متوسط زاوية انحدارها ٣٥ درجة للواجهة و ٣ درجات للسطح الذى يبدو معرى من المفتتات تماماً.

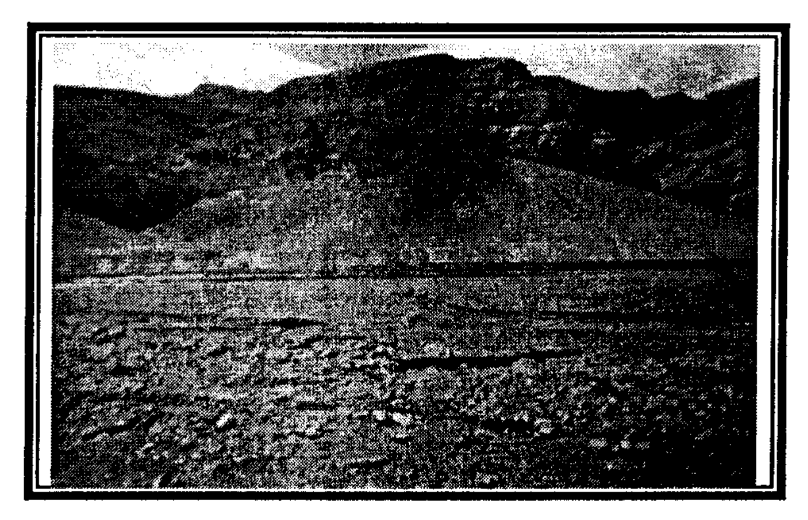
هذا وقد اتضح للمؤلف أن مثل هذه الأرصفة الصخرية الدقيقة أنها تكثر فى مواضع الثنيات وفى مواضع تجديد الشباب بالنسبة للأودية.

أما عن نشأتها فإنها ترجع إلى ما يسمى بالتطابق الدقيق، حيث تعتبر كل مصطبة من هذه المصاطب طبقة صخرية مختلفة فى خصائصها إلى حد ما عما عداها ويفصلها أسطح طبقية عن طبقتين أعلاها وأسفلها وتتراجع هذه الجروف بنفس تراجع الجروف الكبيرة نظراً لوجود الفواصل الأفقية والرأسية والتى تعد مجالاً سهلاً لنشاط عمليات التجوية وعوامل التعرية فتنقل أجزاء منها وتستقر أسفلها على الجانب الهين الانحدار.

(٢) الأشكال الناتجة عن التفكك الميكانيكى وتأثير الجاذبية :

ركامات الهشيم : *Scree*

ترجع هذه الركامات إلى تراكم المفتتات الصخرية الناتجة عن التفكك الميكانيكى للصخور عند قاعدة أقدام المنحدرات. وتتباين قطاعات المنحدرات التى تم قياسها ميدانياً من حيث نسبة المغطى فيها بركامات الهشيم تصل فى بعض القطاعات إلى ١٠٠٪، ويتراوح متوسط انحدار سطوحها ٣٦-٤٠ درجة، تتباين أيضاً هذه المخروطات من حيث أحجام رواسبها وأشكالها نتيجة تباين نوع الصخور المشتقة منها هذه المخروطات ويبدو أنها تقل أسفل الواجهة الحرة تقريباً فى جميع القطاعات تقريباً ومع مرور الوقت وتغير ظروف المناخ فتتعرض مثل هذه المخروطات للتجوية فتنهار مناه مفتتات أقل حجماً تحركها للسيول فى صورة ركامات هشيم لوحة رقم (١٦).



لوحة (١٦) مخروطات الهشيم

ويؤكـد ذلك التحليل الميكانيكى لرواسب مخروطات الهشيم اتضح أنها نسبة المواد الناعمة تمثل ٣٥٪، كما بلغ متوسط أحجام الرواسب الخشنة ٦٥,٢٪ ونسبة الرمل الناعم ٣٤,٨٪ وتزيد بصفة عامة نسبة الأحجام الناعمة من السهل الناعم وأجزاء الطمى والصلصال لأنها تعمل على زحف التربة ولاسيما فى ظروف الجفاف الحالية التى تعانى منها منطقة الجلالة القبلية بالصحراء الشرقية.

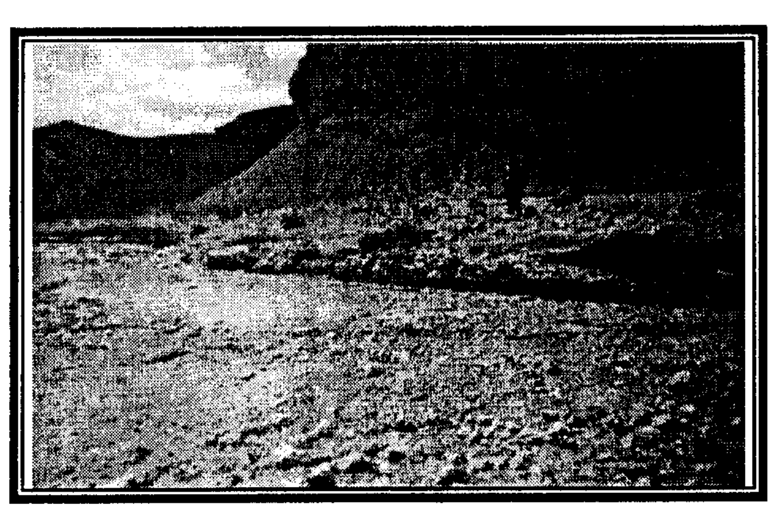
(٣) الأشكال الناتجة عن فعل المياه الجارية :

تتباين منحدرات الأشكال الدقيقة الناجمة عن إرساب المياه الجارية نتيجة للعوامل التالية :

١) الشكل الذى يأخذه جريان المياه سواء أكان مركزاً أو غير مركز.
٢) أنواع المواد المرسبة بواسطة المياه من حيث قابليتها للذوبان أم لا، وشكلها وحجمها من حيث كونها دقيقة أم خشنة الحبيبات.
٣) الشكل الأصلى للمنحدر الذى أرسب عليه هل هو خفيف أم شديد الانحدار ومن أمثلتها مصاطب الأودية والأرصفة الإرسابية الدقيقة والمراوح الفيضية.

... وقد أوضحت الدراسة التى أجراها المؤلف على مصاطب الأودية بمنطقة الجلالة القبلية بالصحراء الشرقية بمصر أنها تختلف فيما بينها من حيث انحدار سطح المصطبة وانحدار واجهتها وامتدادها ويتأثر كل ذلك بالظروف الجيومورفولوجية التى مر بها الوادى ومنها تقطع هذه المصاطب بالمسيلات وانحدار المفتتات على سطوحها من الجوانب المجاورة ونشاط عمليات التجوية وعوامل التعرية على سطوحها وأشكالها المختلفة.

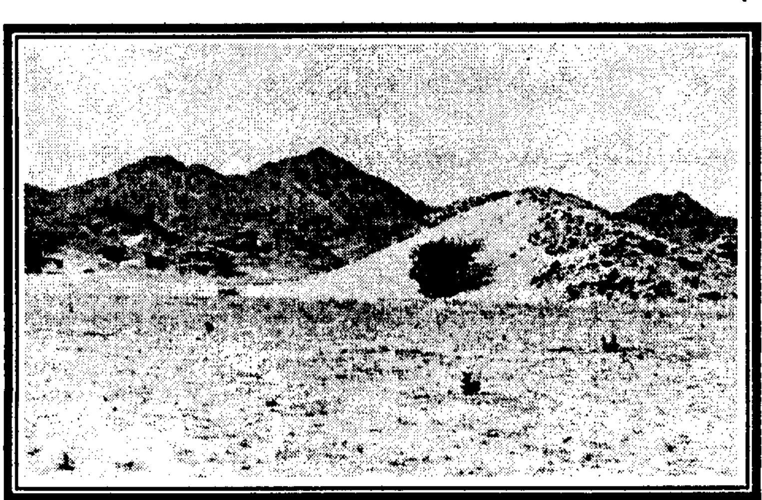
أما الأرصفة الحصوية الدقيقة، فهـي من الظاهـرات المنتشـرة فى قـيعان معظم الأوديـة لاسـيما وأن المـنطقة تتعرض لسـقوط أمطـار تتدفق فى شكل سيول مؤقـتة لا تكـاد تملأ قيعان المجارى ثم ما تلبـث أن تتبخر أو تتسرب أثناء جريانها فى أثـناء جـريانها تحمل معها الرواسب والمفتـتات لا تلبـث أيضاً أن تتركها بعد تـبخرها وتسـربها فى صـورة جروف دقـيقة تتمـيز بأنها رديئة التصنيف حيث تـتكون من رواسب مستديرة وشبه مستديرة وناعمة وخليط من الرواسب الخشنة والناعمة ويتراوح ارتفاعها ما بين نصف متر ومترين فوق مستوى القاع لوحة (١٧)، وتكثر فى الأودية التى تتعرض للسيول بصورة أكبر.


لوحة (١٧) الأرصفـة الحصويـة

أمـا المـراوح الفيضـية فهى من الأشكال الإرسابية الدقيقة على المنحدرات وتتكون عند أقـدام المـنحدرات مـن المـواد المختلفة التى جلبتها الأودية من أعالى المنحدرات الجانبية ويختلف حجمهـا وشـكلها حسـب حجم الأودية التى ترسبها وحسب خصائص أحواض التصريف وكمية الحمولـة مـن الرواسب (التركمانى، ١٩٩١، ص ص ٧٩ - ٨١)، وتتباين انحدار أسطحها ويُرجع ذلـك *Small, 1978* إلى نمـط الجريان وحجم الرواسب المنقولة وطريقة نقلها وترسيبها وطبوغرافية السطح نفسه بالإضافة إلى خصائص أحواض التصريف *(Small, E., 1987, pp: 389 - 310)*.

(٤) الأشكال الدقيقة الناتجة عن الإرساب الهوائى :

قـد تغطـى بعض المنحدرات بالرواسـب الرملـية التى تجلبها الرياح، ونتـيجة لاصـطدامها بالمـنحدر تقوم بإلقـاء حمولـتها مـن الرواسب الرملية فـوق سـطوح المنحدرات وتختلف هذه الرواسـب فى مسـهياتها حسب طبيعة إرسـابها وأشـهرها ظـلال الـرمال والمجـروفات، وقـد لاحـظ المؤلـف انتشـار مـثل هذه التجمعات الرملية فى مخارج الأودية وجوانب المنحدرات خلال دراسته على طول ساحل البحر الأحمر لوحة (١٨).


لوحة (١٨) التجمعات الرملية فى مخارج الأودية وفى جوانب التلال

وقـد اتضـح للمؤلف أن هذه المجروفات الرملية تتباين فى درجات انحدارها وذلك حسب الشكل المرسب عليه والموقع والاتجاه بالنسبة للرياح السائدة وخصائص الرواسب الرملية نفسها.

ثانياً : حركة المواد على المنحدرات من الدراسة الميدانية :

كمـا نعـرف فـإن السفوح (المنحدرات) *Slopes* بشكل عام سواء كانت طبيعية أو من صنع الإنسـان *Man Made Slopes* تتميـز بعدم الاستقرار فهى دائماً ما تكون عرضة للتغير التدريجى أو التغير السـريع، وفى كـثير مـن الأحـوال تـتكرر عمليات الهيار السفوح *Slope Collapse* لأسباب طبيعية أو لأسـباب بشـرية، وقـد يتسبب عن ذلك أضرار بيئية كأن ينغلق طريق ما مع الهيار كتل صخرية من المـنحدرات الـتى تحده وخاصة إذا ما كان يمتد على طول امتداد الأودية المحاطة بحافات شديدة الانحدار وشـديدة الـتقطع بفعـل عملـيات التجوية والتعرية المختلفة، مثل طريق نويبع فى سيناء والذى كثيراً ما يتعرض لانهيارات أرضية وسقوط صخرى خاصة فى أعقاب سقوط أمطار سيلية *Torrential Rain*.

ومـن ثم يجـب الـتفهم الكامل للميكانيكيات التى تتسبب فى عدم استقرار السفح وذلك قبل البناء فوقه أو البناء والتشييد للمبانى والطرق عند أقدامه أو بالقرب منه أو أعلاه.

وقـبل أن تكـون ملاحظاتنا ثاقبة فى الميدان فيما يتعلق بخصائص المنحدرات المعرضة لحركة المـواد وفوقهـا وقبل أن نقوم بقياسات لحركتها وتتبعها ميدانياً يجب علينا أن نتعرف باختصار على أهـم العوامـل المؤثـرة فى تطور المنحدرات والمتمثلة فى التقويض السفلى للمنحدر ***Undercutting*** وتعرضـه للـتجوية التى توفر بدورها المواد المتحركة بأحجامها وخصائصها المختلفة والتى تساعدها عـلى القـيام بدورها ظروف ترتبط بخصائص الصخر وليثولوجيته وضعه الاستراتجرافى والتركيبى، إلى جانـب تغـير الظـروف الخارجـية مثل التشبع بالمياه التى تتشربها التربة أو التكوينات الفتاتية السطحية وكذلك حدوث ارتفاع فى منسوب سطح المياه الجوفية.

وفـيما يختص بدور نوع الصخر الذى يتكون منه المنحدر وبنيته فإن لهما دورهما الكبير فى تطـوره وذلـك لكونهمـا لهمـا دور كـبير فى تطوره حيث تتحكمان فى حجم المفتتات الناتجة عـن الـتجوية، ويرتـبط بالبنية اتجاه ميل الطبقات، وتعاقب الطبقات الصخرية مثل تعاقب طبقات مـن الحجـر الرملى مع طبقة من الطفل وانعكاس ذلك على شكل السفح ودرجة انحداره واستقرار المـواد فوقـه من عدمها، وكل ذلك يمكن تحديده ميدانياً بالملاحظات المباشرة وبالقياس خاصة فيما يرتـبط بكـثافة الشـقوق والفواصـل وسمك الطبقة المتحركة ومدى توافق ميل الطبقات مع اتجاه الانحـدار العـام للأرض حيث أنه فى الحالة الأخيرة نجد أن تجوية الصخر تؤدى إلى تساقط المفتتات بعـيداً نحو أقدام المنحدر، بينما نجد أن المواد الناتجة عن تجوية الطبقات التى تميل عكس الانحدار العام للمنحدر تستقر فى مواضعها.

وهـــناك ســـفوح ذات نقــل محـــدود أى تتحرك فوقها المكونات الصخرية بمعدل أقل من معـــدلات الـــتجوية الـــتى تتعرض لها، وتبدو التربة فوقها متماسكة بفعل النمو النباتى، وهى عاده ما تظهـــر فى العـــروض المعتدلة الرطبة أو العروض المدارية، أما **النوع الثانى** من السفوح فهى التى تشهد تحركاً سريعاً للمواد فوقها مقارنة بما يتعرض له من تجوية، وعادة ما تظهر فى العروض المدارية الجافة.

وفى الـــنوع الأول يجـــب عمـــل قياسات ميدانية لسمك الغطاء الرسوبى السطحى (التربة) حيـــث أنهـــا قـــد تتحرك بالزحف عند زاوية انحدار معين لسطح الانزلاق ***Sliding Plane*** وذلك عند تشبعها بالماء.

كذلـــك مـــن المهم معرفة طول السفح، وهو من الأبعاد التى تعلب دوراً هاماً فى ثبات المواد الصـــخرية فـــوق السفح حيث أن أى سفح بزاوية استقرار يصبح أقل ثباتاً واستقراراً مع زيادة طوله وثبات زاوية انحداره (محمد صبرى محسوب، ٢٠٠١، ص١٦٤).

ويتمـــثل الانهيار الأرضى فى الانزلاقات ***Sliding***، حيث تتحرك التربة كوحدة واحدة منزلقة على سطح الانزلاق عندما تتعرض للتسييل ***Liquification***، ويتسبب الاحتكاك وأثناء انزلاقها اهتزازً للتربة بدرجة تجعلها تتحرك فى شكل متدفق على سطح أقل انحداراً من سطح الانزلاق.

وعـــادة إذا مـــا كانـــت الـــتربة مرتكزة على صخور متماسكة يسود المنطقة انزلاق ضحل ***Shallow Slip***، وإذا مـــا كانـــت هـــناك مواد صخرية سميكة غير متماسكة، مثل الرواسب الفيضية حيث يسود الانزلاق الدورانى ***Rotational Slip***.

وفى المـــيدان يمكـــن للـــدارس أن يحدد بعض المؤشرات التى تدل على إمكانية حدوث تدفق للمفتـــتات الصـــخرية مثل تكون السفوح من مفتتات غير مصنفة ***Unsorted Debris*** عادة ما تتكون مـــن حصـــى ورمال وهذا يستدعى مع الملاحظة المباشرة فى الميدان إلى أخذ عينات من هذه الصخور المفتـــتة وتحليـــلها ميكانيكاً. ومن المؤشرات الأخرى لإمكانية حدوث تدفق للمفتتات الصخرية ظهور قنوات عميقة على منحدرات شديدة الانحدار ***Steep Slope***.

كيفية تحديد المناطق المعرضة للانزلاق والسقوط الصخرى :

يتمـــثل دور الجـــيومورفولوجى أساســـاً فى توقـــع المناطق التى يمكن أن تتعرض للانزلاقات الأرضـية أو السقوط الصخرى وكذلك تحديد الخصائص البيئية المتحكمة فى مثل هذه العمليات.

ويتمـــثل الـــدور الأول فى توقـــع حـــدوث انـــزلاقات أو سقوط وشيك أو توقع حدوث انزلاقات أرضية أو سقوط أرضى يمكن تحجيمه أو إيقافه.

بالنسبة للخصائص المتحكمة فى حركة المواد على السفوح فتتمثل أساساً فى وجود عوامل تؤدى إلى زيادة ضغط أو إجهاد القص مثل التقويض السفلى الذى يقوم به مياه الأنهار أو الأمواج عند أقدام جوانبها أو عند أقدام الجروف الساحلية وتجوية الطبقات الأضعف عند أقدام السفوح وعمليات الحفر والتحجير بواسطة الإنسان أو نتيجة لزيادة قوى الاضطراب مثل التراكم الطبيعى للمياه أو الثلوج أو تراكم ركامات السفوح أو نتيجة لضغوط من صنع الإنسان مثلما يحدث عند عمليات التشييد المختلفة أو نتيجة لتراكم المواد الخام على السطح أو نتيجة لمرور وسائل النقل الثقيلة بشكل مستمر على طول طريق وتظهر فى قطاعات منه منحدرات مفككة وشديدة الانحدار، وقد ترتبط الانزلاقات أساساً بحدوث الزلازل وما ينتج منها من اهتزازاً، كذلك قد تنتج الانزلاقات الأرضية نتيجة لضغط داخلى للمياه المختزنة فى مسامات أو فى الشقوق والفواصل التى توجد بها *(Cooke R., U., and Doornkamp, 1978, p.131)*.

لكى نحدد ميدانياً المناطق المعرضة للانزلاقات الأرضية يجب أن نحدد بوضوح المقصود بالموقع ومفهوم الموضع.

فمواقع الانزلاقات الأرضية *Landslide Locations* التى يمكن أن نتوقعها توجد فى الجهات الجبلية وعلى جوانب الأودية الجبلية شديدة الانحدار وعلى سفوح التلال المنحدرة والحافات الصدعية وجوانب الأنهار التى تتعرض للتقويض السفلى لمياه النهر وكذلك لعمليات التجوية والتخوير وغيرها.....، بينما تتمثل المواقع التى لا تتعرض للانزلاقات فى المناطق المستوية نسبياً.

أما **الموضع** *Site* فيشير إلى انزلاق أرضى محدد فعلى سبيل المثال سفح شديد لانحدار نحدده بدقة من الطبيعة يتميز مع شدة انحداره بتشققه وكثرة الفواصل ومع تعرضه لأمطار غزيرة.

ولتحديد خصائص مواضع الانزلاقات الوشيكة والمحتملة يمكننا أن نحدد ما يمكن اتباعه ميدانياً فى تحديدها بدقة وتحديد درجات خطورتها إن وجدت على النحو التالى :

(١) التضاريس :

كلما كان انحدار المنحدر الجبلى شديداً كان بدورة أقل استقراراً وثباتاً، وهذه المنحدرات عادة ما تقطعها أودية عميقة مع انكشاف صخور الأساس *Bed Rocks* التى تعد أكثر المواضع عرضة للسقوط الصخرى، وقد عرفنا كيف نحدد درجة الانحدار فى الميدان بأجهزة القياس المعروفة أو من الخريطة الكنتورية التفصيلية بجانب بعض القياسات الخاصة بالتضرس وشكل المنحدر، فنجد على سبيل المثال أن عملية تسجيل الارتفاعات فى الأراضى الفاصلة بين عدد من الأودية (أراضى ما بين الأودية) يبدو ذات أهمية كبيرة إذا ما عرفنا أن النهايات المنخفضة للبروزات *Spurs*

الفاصلة بين نظامين نهريين تعد من أكثر المواضع عرضة لنشع المياه الجوفية *Seepage Of Ground Water* وما يترتب عليها من انزلاقات أرضية خاصة مع كثرة الشقوق والفواصل، وهذا يؤدى بالتالى إلى عدم استقرار جوانب الوادى الأقل منسوباً وفى مناطق الكهوف والخلجان التى تظهر على جوانب الأودية النهرية عادة ما نجدها عرضة لضغوط المياه داخل المسامات الصخرية مما يجعلها بالتالى معرضة للانهيارات الأرضية.

(٢) التصريف المائى :

تعد كثافة التصريف المرتفعة مؤشر على وجود طبقات صخرية غير ممررة *Impervious Layers* وتعد كذلك دليل على حدوث أمطار غزيرة ونباتات غير كثيفة وزيادة فى نشاط تعميق الأنهار لمجاريها، وكل هذه الظاهرات قد ترتبط بحركات انهيار أرضى فالنهر أو الوادى السيلى شديد الانحدار، يدل على مرحلة تعميق سريعة، يرتبط به عادة سقوط صخرى أو سقوط للمفتتات الصخرية *Debris Fall*، وانزلاقات أرضية، وكلها عمليات ترتبط بتعمق المجرى، وإن كانت ترتبط كذلك بالنحت الجانبى *Lateral Erosion* والتى قد تسود فى نهر بطئ الانحدار، أو وسط سهل فيضى، إلى جانب ارتباطها بالأودية السيلية الجبلية، كذلك قد يعمل النشع من جوانب التل على حدوث نحت فى التكوينات الرملية أو الغرينية، إلى جانب ما يقوم به النشع من ضغط ينتج عنه تحريك المفتتات مما يعرض السفح لعدم الاستقرار *Instability*.



لوحة (١٩) إنزلاق الكتل الصخرية على جوانب هضبة المقطم

ويمكننا فى الميدان تحديد مواضع النشع على منحدر ما وذلك من خلال تعيين بعض الأدلة (المؤشرات) والملامح التى ترتبط به مثل زيادة واضحة فى كثافة الجداول المائية *Gullies* وحفر التقويض الينبوعى *Spring Sapping* أو انهيار الأنابيب والقنوات الطبيعية أو تشرب السفح بمياه الصرف الزراعى أو الصرف الصحى مثلما يحدث على هضبة المقطم حيث يتعرض الشطح للتشقق الذى يزداد كثافة، وتزداد الشقوق اتساعاً مع انفصال كتل صخرية وانزلاقها فوق طبقة الطفلة المنتفشة نتيجة لتشبعها للمياه لوحة (١٩).

(٣) صخور الأساس :

يتحدد حجم الكتل الساقطة على المنحدر من خلال كثافة الفواصل الصخرية *Joint Density* والصدوع وسطح الطبقية وغيرها من أشكال، واتجاهات التشققات الصخرية. فاتجاهات الفواصل الصخرية واتجاه ميلها بالنسبة للاتجاه العام لانحدار السفح، ذات تأثير مباشر على درجة استقرار السفح، وكل هذه الخصائص يمكن لأى جيومورفولوجى قياسها فى الميدان، كما يمكن له أن يستنتجها من تحليل الصور الجوية.

بالنسبة لقياس الفواصل(*) والشقوق من الميدان :

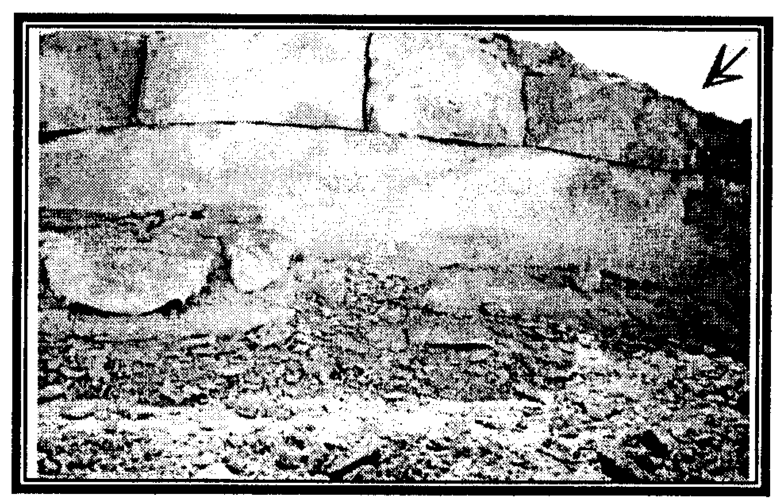


لوحة (٣٠) الفواصل الرأسية (العمودية) فى صخور أركية

كما ذكرنا يمكن قياسها من حيث تحديد أنواعها، فهناك فواصل الميل *Dip Joints*، وهى عبارة عن شقوق ممتدة فى اتجاه ميل الطبقات، وفواصل المضرب *Strike Joints* وتمتد عمودية على اتجاه ميل الطبقات، وعادة ما تتقاطع مع فواصل الميل، وهناك الفواصل الغطائية مثل الفواصل الغطائية الواسعة *Sheet Joints* المرتبطة بتفصيل الصخور الجرانيتية كما تظهرها لوحة (٢٠)، ثم بعد تحديد أنواعها من الميدان يمكن إتمام قياسها من خلال حساب أطوالها على سفح الانهيار باستخدام شريط التيل، ومن ثم حساب متوسط أطوالها على مساحة محددة من واجهة الحافة المطلوب دراستها، ثم دارسة متوسط اتساع هذه الفواصل ودرجة تعمقها والمسافات البينية واتجاهاتها، والأخيرة ذات أهمية كبيرة حيث أنها عندما تمتد مائلة أو متقاطعة مع طبقات صلبة (حجر جيرى مثلاً مع طفلة هشة) فإن ذلك يؤدى إلى سرعة تشرب الطبقات الهشة بالمياه وانتفاشها وسهولة تحريك الطبقات الصلبة فوقها، مثلما يحدث ف حافة هضبة المقطم (كما ذكرنا)، كذلك يتم حساب كثافتها وذلك بعمل مربعات بأبعاد معروفة وحساب عد الشقوق فى كل ١٠٠ متر مربع مثلاً. وكذلك باعتبار الفواصل من المتغيرات الرئيسية المؤثر تماماً فى نشاط عمليات التجوية وسرعة تحرك المواد فوق السطح.

(*) شق طبيعى فى الصخور غير مصحوب بزحزحة على أحد جانبيه.

وتوضح اللوحة التالية (٢١) كثافة الشقوق فى حافة ودورها فى زيادة حركة المواد على السفح.



لوحة (٣١) زيادة كثافة الشقوق على أحد المنحدرات ودور ذلك فى زيادة نشاط عمليات الانهيار الأرضى

كذلك تبين اللوحة (٢٢) فواصل عمودية متقاطعة مع بعض الفواصل الأفقية فى صخور أركية قديمة فى جبال عسير بالسعودية قرب مدينة خميس مسيط، مع حدوث تقويض على طول امتداد أحد الفواصل الأفقية المتقاطعة مما أدى إلى هذا المظهر الملفت وتعرض أعلى الحافة للانهيالات والإنقلاب الصخرى *Rock Toppling* (*).

لوحة (٣٢) فواصل عمودية متقاطعة مع فواصل أفقية فى صخور أركية بجبال عسير

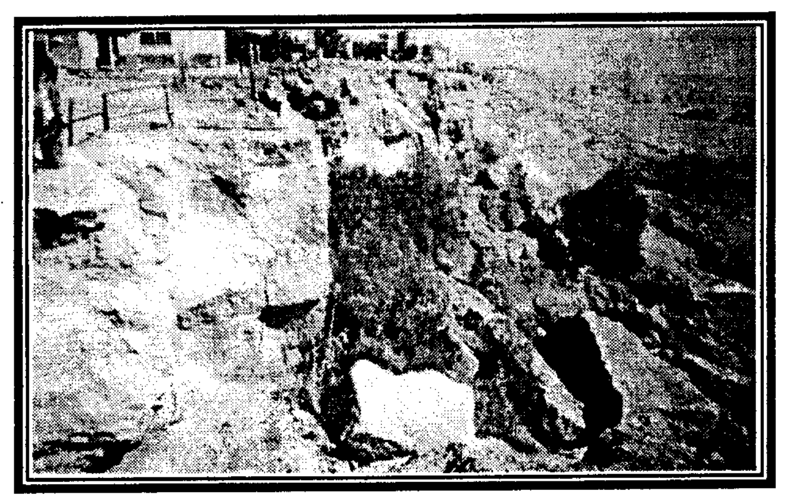
كما تظهر من اللوحة (٢٣) خطوط الضعف والتقاطع فى صخور متنوعة (أنماط الفواصل) يمكن الاهتداء بها عند المسح الميدانى :

(أ) منظر يوضح الفواصل غير المنتظمة وتقاطعها مع فواصل منتظمة.

(ب) كتلة صخرية توضح العلاقة بين الفواصل المتقاطعة *Cross Joints* وسطح الطبقية.

(جـ ، د) يوضحان أنماطاً من الفواصل الرأسية مع تقاطعات لفواصل رأسية أخرى فى اتجاهات مغايرة.

(*) عادة عندما تمتد فواصل فى اتجاه واحد على وجه الجرف تكون ذات عمر واحد (ترجع لفترة زمنية واحدة).



لوحة (٢٣) أثر النباتات الشجرية على تجوية الصخور

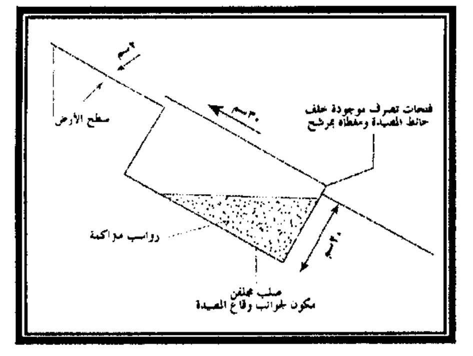
وجديـــر بالذكـــر أن الدراسة الميدانية قد تكشف أن ما توضحه الصور الفوتوغرافية على أنـــه مـــنحدر ذا فاصل بنائى تكتونى هو فى الحقيقة نتاج انزلاق أرضى مثل دراسة *Granrt, J.,* عن الانـــزلاق الأرضى فى الصحراء جنوب غرب ليبيا وذلك عام ١٩٨٦ والتى لا تدل الظروف الجافة عـــلى إمكانية حدوث انزلاق أرضى نشط حيث استدل من الدراسة الميدانية على حدوث انزلاقات أرضية موروثة *Inherited Landslide*، عندما كانت تسود المنطقة فترات مطر أغزر.

لوحة (٢٤) انزلاقات أرضية دورانية بجبل ميساك بليبيا

وتوضـــح اللوحـــة (٢٤) انـــزلاقات أرضـــية دورانـــية ضـــخمة *Rotational Landslide* عـــلى الحافـــة الشمالية لجبل ميساك بليبـــيا يـــراجع كذلك اللوحة (؟؟؟) الـــتى توضـــح الانـــزلاقات الأرضية الـــتى تغطى المنحدر من حافة الهضبة الشـــرقية مـــن الصـــورة حتى أقدام المـــنحدر فى مســـافة ٧٠٠متر بينما يـــبلغ ارتفاع الهضبة ١١٦ متراً، حيث تبدو الظروف الاستراتجرافية مواتية (مساعدة)، حيث توجد طـــبقة سمكية شديدة المقاومة من الحجر الرملى ترتكز فوق طبقات من الحجر الرملى الهش وطبقات من الطين والغرين.

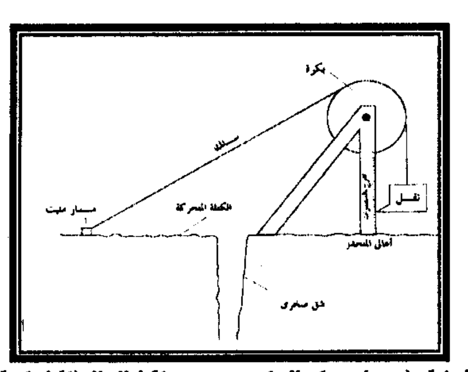
ويقـــدر أن المطر الذى أدى إلى حدوث هذا الانزلاق يبلغ ٣٠٠ ملليمتر/سنة، بينما فى الوضع الحالى يقل المطر عن ٢٠ ملليمتر سنوياً ومن ثم فإن المنحدر يتميز بالاستقرار *(Zhang, Z., Y., et al, 1985, p. 49)*.

وعـــادة مـــا يمكـــن قـــياس تـــراجع الســـفوح *Slope Retreating* مـــن ملاحظـــة سلسلة من الخرائط كبيرة المقـــياس أو سلســـلة من الصور الجوية وذلك لفترات زمنية متـــباعدة، وهـــى طـــرق سريعة ومبسطة، خاصة فى السفوح ســـريعة الـــتراجع *rapidly Retreating Slopes*، كمـــا يمكن تتـــبع عملـــيات الـــتراجع ميدانـــية وذلك من خلال تثبيت قضـــيان حديديـــة مدرجـــة عـــلى طـــول نطاق التراجع فى التكويـــنات الهشـــة، بحيـــث يمكن تتبع التراجع كل فترة زمنية خاصة مع تسارع عملية التراجع التى قد يحـــدث خـــلال ســـنوات أو خلال عدة شهور، ومن ثم يمكننا من خلال تحليل نتائج القياس تحديد طبيعة العلاقـــات بـــين العملـــية والعوامل الخارجية، راجع الشكل (٢٢) الذى يوضح مصيدة رواسب لقياس معدلات النحت بفعل تدفق المياه على المنحدرات(*).



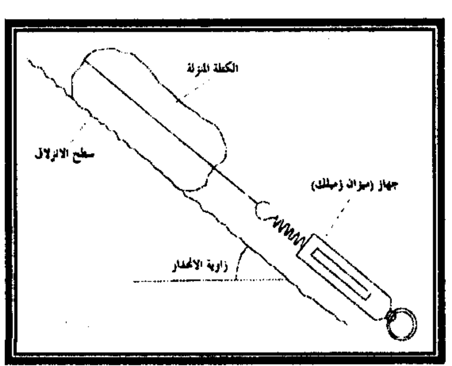
شكل (٣٢) مصيدة الرواسب الناتجة عن النحت بفعل تدفق المياه فوق المنحدر

ومـــن وســـائل القـــياس الـــتى تمت لمتابعة الانزلاق الصـــخرى مـــا قـــام به كل من *Hoek and Bray* من متابعة قياســـية لفواصـــل صـــخرية أعلى المنحدر فى المراحل السابقة لانهـــياره، وهـــى مـــن فواصل الشد *Tensional Joints* حيث قامـــا بمتابعة ما تتعرض له من توسيع *Widening* خلال فترات زمنـــية وذلك بواسطة جهاز بسيط شكل (٢٣) يمكن القياس المباشر للإزاحة التى يتعرض لها الشق أو الفاصل(**).



شكل (٢٣) جهاز قياس توسع الشقوق (الفواصل) قبيل تعرض الكتلة الصخرية للسقوط أو الانزلاق

وتوجـــد أجهـــزة عديدة خاصة بقياس السفوح مـــثل الجهـــاز الخـــاص لقياس قوة الاحتكاك *Frictional Strength* شـــكل (٢٤)، وجهـــاز قـــاس زحـــف التربة وزحـــف ركامـــات الســـفوح والأخيرة يمكن قياسها من خـــلال تثبيت أوتاد خشبية أو حديدية عند أطرافه وعلى مســـافة محـــددة منه ومتابعة الاقتراب منها بعد فترة زمنية معيـــنة فـــيما يشبه وسيلة قياس حركة الرمال وهى وسيلة بسيطة جداً يمكن لأى باحث ميدانى القيام بها.



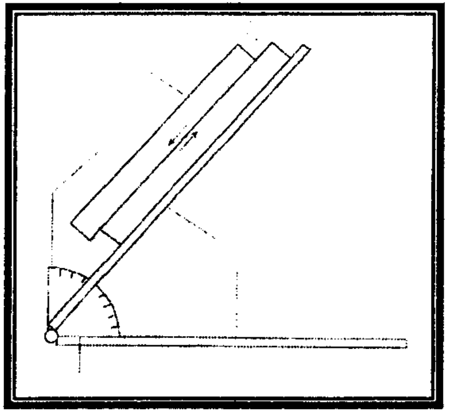
شكل (٢٤) جهاز قياس قوة الاحتكاك بين الكتلة المنزلقة وسطح المنحدر

(*) شرح الجهاز مرفق بالرسم الخاص به.

(**) الشرح مذكور على الرسم.

كمـــا يمكـــن القـــيام بقياسات زحف التربة فى المناطق الزراعية على سفوح منحدرة وذلك بوســـيلة للغايـــة تتمثل فى لوح خشبى مقوى ومتحرك فى مجرى على طول لوحين فى تعامد مع تعمقه فى الـــتربة حـــتى سطح الزحف بحيث يتحرك باتجاه حركة زحف التربة، ويمكن استخدام هذا الجهاز البسيط (غير المكلف) فى قياس حركة زحف ركام السفوح.

كذلـــك يوضـــح الشـــكل الـــتالى (٢٥) جهازاً بسيطاً لقياس العلاقة بين زاوية الانحدار والانزلاق اللوحى على المنحدرات (سطح الانحدار).



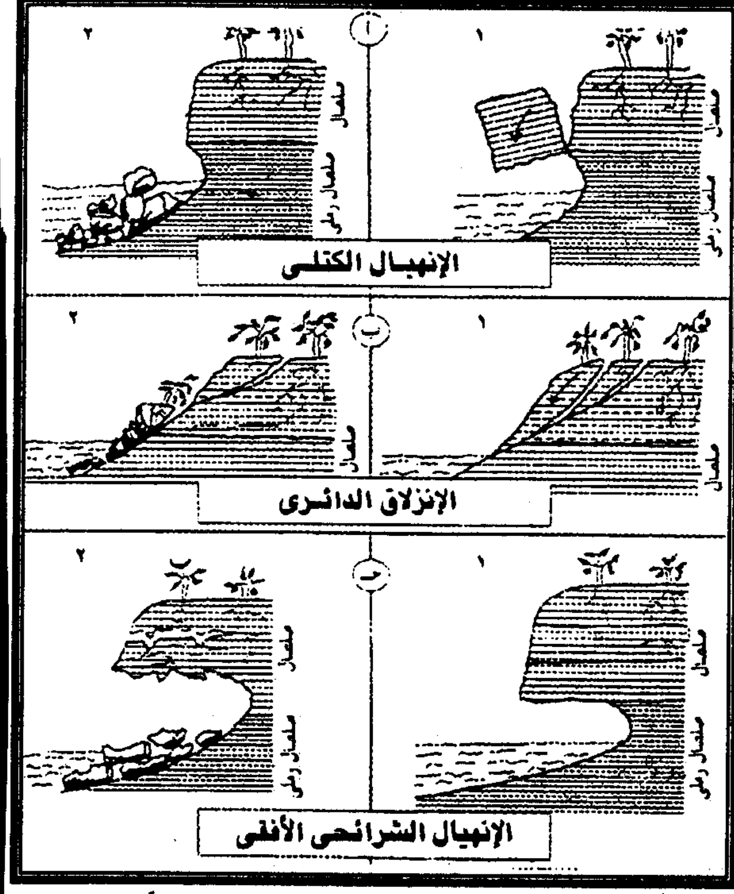
شكل (٣٥) جهاز بسيط لقياس العلاقة بين زاوية الانحدار وسرعة الانزلاق اللوحى

وتوضـــح اللوحـــة (٢٥) أحـــد الكهوف التى تكونت على الجانب الغربى لنهر النيل شمالى نجـــع هـــيكل بمحافظـــة أسوان مع وجود تشققات أعلاها مما يعرض الضفة للانهيار (ممدوح تهامى، ٢٠٠٣، ص٨٦)، ويمكـــن قـــياس أبعـــاد هذا الكهف ميدانياً واتجاهات شقوقه، ثم العودة إليه بعد فـــترة وإعـــادة القـــياس والتصوير الفوتوغرافى لمتابعة معدلات تغير الأبعاد وحدوث الانهيار، راجع كذلك الشكل (٢٦ جـــ) الذى يبين كيفية حدوث انهيال كهفى.



لوحة (٣٥) أحد الكهوف التى تكونت على الجانب الغربى لنهر النيل شمالى نجع هيكل محافظة أسوان

وتوضح الأشكال التالية (٢٦ أ،ب،جـ) والتى تضمنتها دراسة تمامى، ٢٠٠٣ أشكال الانهيالات التى تتعرض لها جاونب نهر النيل فى قطاع كوم أمبو – إسنا.



عن تمامى، ٢٠٠٣

شكل (٢٦) أشكال الانهيالات التى تتعرض لها جوانب نهر النيل فى قطاع كوم أمبو / إسنا

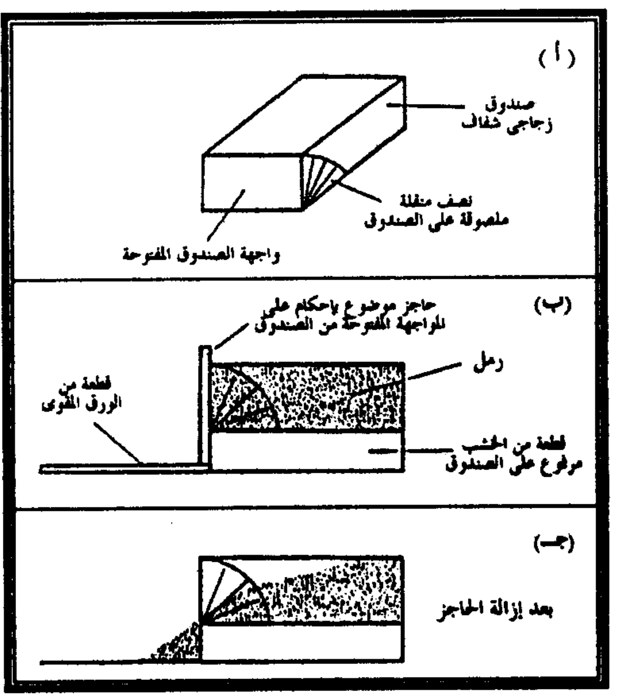
الشكل (٢٦ أ) التعرض لتقويض سفلى فى طبقة الصلصال الرملى ثم انهيار الطبقة العلوية الصلصالية وبشكل (أ ٢) حدوث انهيال وتراكم الكتل المنهارة فوق سطح سفح معتدل الانحدار.

ويوضح الشكل (٢٦ ب) انزلاق دورانى بعد ظهور شقوق منحنية فى الطبقة العلوية مع وضوح أسطح انزلاق منحنية تنزلق عليها الكتل الصلصالية على النحو المبين.

وهناك انهيال شرائحى أفقى نتيجة لوجود تشققات أفقية موازية لسطح الطبقة العلوية واتساعها وتساقطها شكل (٢٦ جـ)، كما يوجد انهيال رأسى لظهور تشققات رأسية متعامدة على مستوى الطبقة الصلصالية وتشبه كثيراً الانهيار الدورانى باستثناء عمودية الشقوق على سطح الطبقة.

ونظراً لسرعة حدوث الانهيالات سابقة الذكر على طول جوانب الأنهار دائمة الجريان مثلما الحال فى نهر النيل فى مصر، فيمكن تتبع مراحل تطورها وحدوثها من خلال تتبع قياسات أبعادها والتقاط صور فوتوغرافية فى مراحل زمنية متتابعة ومتقاربة نسبياً، مع دراسة خصائص مساميتها ونسيجها الصخرى وقياس أبعاد واتجاهات الشقوق فى الطبقات الصلصالية على نحو ما قام به تمامى فى دراسته السابقة ٢٠٠٣.

نموذج معملى لتحديد زاوية الاستقرار للرواسب المتحركة(*) :



شكل (٢٧) نموذج قياس انحدار الركامات الرسوبية

النموذج عبارة عن صندوق من البلاستيك مفتوح من أحد جوانبه وموضوع على قطعة خشبية فوق طاولة، ومرسوم على جانبه زاوية بأقسامها (فيما يشبه المنقلة) وذلك فى اتجاه الجانب المفتوح كما يظهر ذلك من الشكل (٢٧) الذى يوضح نموذج قياس انحدار الركامات الصخرية.

يتم صب كميات من الرمال الكوارتزية فاتحة اللون (دقيقة الحبيبات) بعناية فى الصندوق مع إغلاق الجانب المفتوح بورق مقوى، وبعد صب الرمال يتم سحب الحاجز الورقى المقوى مع ترك الرمل ينهال فوق ورقة كبيرة أمام الجانب المفتوح.

يتم قراءة زاوية السفح الرملى بعد سقوط كميات الرمال خارج الصندوق بالشكل الموضح بالرسم، ويتم تسجيلها لتعاد الكرة أكثر من مرة.

تعاد التجربة بوضع رمال خشنة (ذات أحجام كبيرة) وذات كثافة نوعية عالية (ثقيلة الوزن) وتتم الخطوات سابقة الذكر ويتكرر قياس زاوية السفح الرملى الخشن وتقارن بزوايا انهيال الرمال الناعمة لتحديد الاختلاف فى قيم الزوايا والتى ترتبط بطبيعة الحال بالخصائص الحجمية للرواسب وكذلك بخصائصها المعدنية (آمال إسماعيل شاور، محمود دياب راضى، ١٩٩١، ص ص ١٧٤-١٧٥).

وتدل نتائج هذا النموذج على أن زاوية الاستقرار *Stable Angle* الحقيقة تتوقف على عدد من الضوابط والخصائص يتمثل أهمها فى حجم وشكل والكثافة النوعية *Specific Density Gravity* للمواد الأرضية السائبة ودرجة التجانس فى الحبيبات والمسافة السفحية التى تقطعها فى تحركها من أعلى إلى أسفل (المرجع السابق، ص ١٧٣).

(*) مثل الحال فى جوانب الكثبان الرملية، وزاوية الاستقرار لوجه الكثيب الهلالى والتى تبلغ نحو (٣٣°) فى حالة الرواسب وتفككها.

الفصل الرابع

القياسات الميدانية لظاهرات الكارست

أولاً : طرق الدراسة القياس الميدانى.

ثانياً : أهم الأشكال الكارستية وطرق قياسها ميدانياً.

مقدمـــة :

مـــن المعـــروف أن الحجر الجيرى *Limestone* بشكل عام كلسي يذوب فى المياه تحت الأرضية وكذلـــك بفعل المياه الجارية التى تحتوى على حمض الكربونيك *Carbonic* [*]، وينتج عن ذلك تكون العديد من الأشكال الأرضية التى توجد عليها ظاهرات كارستية نسبة إلى إقليم كارست *Karst* بشبه جزيرة استريا بساحل كرواتيا على البحر الإدرياتى والذى تتمثل فيه معظم أشكال الكارست المعروفة مثل البوجاز *Bogaz* – الأسطح المشرشرة –، الحفر الغائرة (الهوات)، والأودية العمياء، والكهوف وغيرها.

ونظـــراً لكون الحجر الجيرى من أكثر صخور قشرة الأرض انتشاراً، فإن الأشكال الكارستية توجـــد فى مناطق كثيرة من العالم سواء فى العروض المدارية مثل جزيرة جاميكا وفيتنام والجزيرة العربية وأجـــزاء من صحارى شمال أفريقيا إلى المناطق المعتدلة مثل وسط الغرب الأمريكى إلى المناطق القطبية مثل جزيرة ساوث هامبتون شمال كندا.

ومـــع شـــدة تباين الأشكال الكراستية من منطقة إلى أخرى وذلك بسبب اختلاف الظروف المناخـــية والخصائص الجيولوجية فإن الأشكال الكارستية النموذجية عادة ما توجد فى العروض المعتدلة المشابهة لإقليم كارست الكرواتى.

وعادة ما تظهر أشكال لسطح الكارستية المثالية عندما تختفى المياه السطحية فى صخور الحجر الجـــيرى المـــنفذ للمـــياه والذى يسمح لها بالتشرب *Infiltretion* والتخلل *Percolation* فى الأرض بشـــكل ســـريع، ويؤدى وجود المياه داخل صخور ما تحت السطح وتحركها خلال شقوقها وفواصلها وفجواتها إلى حدوث ما يعرف بالنحت الكيماوى *Corrosion* والذى قد يحدث أعلى وأسفل مستوى المـــاء تحـــت الأرضـــى والـــذى بدوره يؤثر فى صخور الحجر الجيرى من خلال ثلاث طبقات تتمثل فى الطـــبقة الواقعة أسفل السطح مباشرة وعلى عدة أمتار قليلة منه والتى تترشح خلالها المياه السطحية ببطء شديد وتقوم بالنحت تحت السطح مباشرةً *(Pitty, A., 1988, p199)*.

الطـــبقة الواقعة لمسافة بعيدة نسبياً من السطح – على عمق عدة مئات من أل أمتار – وتتأثر بالنحـــت الذى تقوم به المياه تحت السطحية *Subterranean* وهو نحت كيماوى وإن كان لا يخلو من التأثير الميكانيكى. أما ما دون ذلك من أعماق بعيدة فى طبقة التشبع الدائم فإنه يصعب التأكد من دور المياه الجوفية فى القيام بعمليات النحت.

---

[*] من المعروف أن الحجر الجيرى يتكون أساساً من كربونات الكلسيوم غير القابلة للذوبان Insoluble، ولكن ثانى أكسيد الكربون الذى تمتصه مياه المطر من الجو تحولها إلى بيكربونات قابلة للذوبان Soluble Bicarbonate، ومن ثم كانت إزالته بفعل إذابة مياه المطر ومياه الأنهار الجارية.

وبشــكل عــام فإن عمليات الإذابة التى تقوم بها المياه فى الصخور الجيرية ينتهى بها الأمر إلى تخفـيض سطح الأرض بمعدلات تتراوح فى بعض المناطق ما بين ٠,١ إلى ٠,٢ مملم فى السنة. وإن المياه السـطحية تقـوم بالنحت بفعالية كبيرة فى السطح العلوى مباشرة يعضدها وجود الشقوق وغيرها من مواضع الضعف الجيولوجى التى تمثل مواضعاً لنشأة وتطور المنخفضات الكارستية بأشكالها المختلفة والتى تختلف من عروض إلى أخرى مما يوضح أثر المناخ فى هذه العمليات الكارستية *(William, P., W., p.110)*.

كيفية الدراسة والقياس الميدانى :

(أ) دراســة جيولوجــية مستفيضــة للمــنطقة محــل الدراسة لتحديد خصائص صخورها – الجيرية أساساً – الجيولوجية والتركيبية مستعيناً بخريطة جيولوجية تفصيلية.

(ب) تحديــد الخصــائص المناخــية الســائدة، وهــى عــادة ظــروف مناخــية جافــة فى منطقتنا ومن ثم فإن الظاهــرات الكارســتية الموجــودة إمــا أن تكون ظاهرات كارستية موروثة *Inherited Phenomena* أو نتاج قرب المياه تحت السطحية من الأرض وقيامها بالإذابة الكارستية.

(جــ) تحديــد أهــم الظاهــرات والأشــكال الكارســتية ومحاولة التعرف على مساميتها الحقيقية، ثم قياس الأبعاد المورفومترية لكل ظاهرة كارستية لاستنتاج كيفية نشأتها ومراحل تطورها.

وفيما يلى أهم الأشكال الكارستية وطرق قياسها ميدانياً :

(أ) الحفر الغائرة : *Sinkholes*

كمــا عرفــنا فــإن هــناك العديد من أشكال التعرية الكارستية فى صخور الحجر الجيرى الذى يتمــيز كمــا عرفــنا بكــثرة فواصــله وأسطح طبقيته والتى سرعان ما تصبح أكثر اتساعاً بفعل عمليات الإذابــة لــتأخذ أشــكالاً وملامــح أرضية متنوعة بعضها يظهر فوق سطح الأرض مثل الحفر والمنخفضات الكارســتية بأشــكالها وأبعادهــا وأحجامهــا المخــتلفة والبوجاز والبعض الآخر مختفياً تحت سطح الأرض مــثل الكهــوف ومــا بداخــلها من ملامح مورفولوجية تفصيلية مثل النوازل والصواعد والقشور الملحية ومن الأشكال تحت الأرضية الأودية العمياء وغيرها من ملامح نتجت عن عمليات جيوكيماوية.

بالنســبة للحفر الغائرة فهى عبارة عن منخفضات معلقة تتكون وتتطور فوق أسطح جيرية بفعــل عملــيات الإذابــة المائية الكربنة (عودة، ١٩٨٤، ص١١)، وعادة ما تظهر هذه الأشكال فى المــناطق الجيرية حيث تكون نتاج تعرية كارستية قديمة ارتبطت بفترات أغزر مطراً كما هو الحال فى الوقت الحاضر أو أنها نتجت عن عمليات إذابة تحتية.

وتعد الحفر الغائرة أو الهوات من أكثر الأشكال الكارستية وضوحاً، بعضها يتطور فوق سطح جيرى متكهف *Cavernous* تتلى بالرواسب القادمة من جوانب الأودية القريبة وبعضها ذو جوانب شديدة الانحدار تتميز بالعمق وعادة ما تتحرر مواضع تقاطع الفواصل الصخرية التى تتحول مع عملية الإذابة التدريجية إلى حفرة عميقة يتوقف شكلها على الخصائص التركيبية التفصيلية.

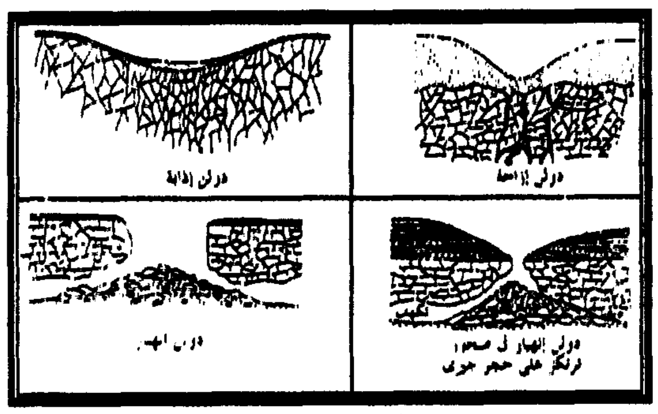
وفى الميدان يمكننا أن نميز بين نوعين من الحفر الكاستية :

١) حفر الإذابة : *Solution Sinkholes*

وتنتج عن عملية إذابة تدريجية للصخور السطحية ويطلق عليها أسماءً محلية مثل "الدحول والدولينات" وغير ذلك

٢) حفر الانهيار . *Collapse Sinkholes*

وتنتج عن حدوث عمليات تقوض للتكوينات التحتية بفعل الإذابة مما يؤدى إلى انهيار الصخور السطحية الجيرية. وقد تتصل هذه الحفر ببعضها وتكون بالوعات مركبة، كما قد ينتج عن الانهيار تكون أحواض تتميز بشدة انحدار جوانبها تعرف بالبولج *Polje*.



شكل (٢٨) أشكال الحفر الكارستية

ويستخدم الآن مصطلح *Dolin* بشكل واسع الانتشار فى الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة ليعنى جميع المنخفضات الكارستية بأحجامها وأشكالها وأبعادها الجيومورفولوجية المختلفة سواء كانت ناتجة عن الإذابة أم عن الانهيار، وتتراوح أعماق الدولينات ما بين بضعة سنتيمترات و ٣٠٠ متراً أو أكثر وتتراوح انحدارات جوانبها بين ٢٠ و ٩٠ درجة شكل (٢٨).

ولابد فى الميدان قبل القيام بالعمل الميدانى للظاهرة ذاتها – الدولن *Dolin* – أن نتعرف جيداً على التكوين الصخرى لمنطقة وجودها حيث ترتبط فى وجودها بالصخور الجيرية التى تكثر بها مواضع الضعف التركيبى. كذلك نتعرف على خصائص السطح فكلما قل الانحدار ساعد على بقاء الماء فترة أطول مما يمكنها من القيام بعملية الإذابة الكارستية فوق سمك أكبر من الطبقات، كذلك معرفة منسوب الماء الجوفى. والحفر الغائرة أنواع مختلفة منها حفر الإذابة وحفر الانهيار وحفر الركام

وإذا كانت القياسات المورفومترية المعتمدة على الخرائط والصور الجوية تفسر فقط الخصائص العامة لتلك الأشكال الكارستية فإن من الأهمية بمكان القيام بقياسات حقلية لإعطاء الخصائص التفصيلية وليس فقط مجرد معرفة الشكل *Shape* والحجم والصور التوزيعية

ومن القياسات الميدانية الخاصة بالحفر الغائرة ما يلى :

كثافة الحفر الغائرة : *Dolines Density*

يمثل عدد الحفر الغائرة فى كل وحدة مساحية محددة يمكن توقيعها على خريطة تفصيلية وتكون معلومة المساحة مع حساب عددها وقسمة هذا العدد على مساحة الوحدة المساحية ولتكن على سبيل المثال وحدات مساحية كل وحدة كيلو متر مربع واحد فنقول مثلاً خمس حفر غائرة فى الكيلومتر المربع دون الأخذ فى الاعتبار التباين فى مساحات الحفر وأعماقها.

وقد أظهرت الدراسات الخاصة بكثافة الحفر الغائرة وجود علاقة بين كثافتها ومساحتها كما أظهرت وجود علاقة بين الخصائص التركيبية والليثولوجية وكثافة الحفر.

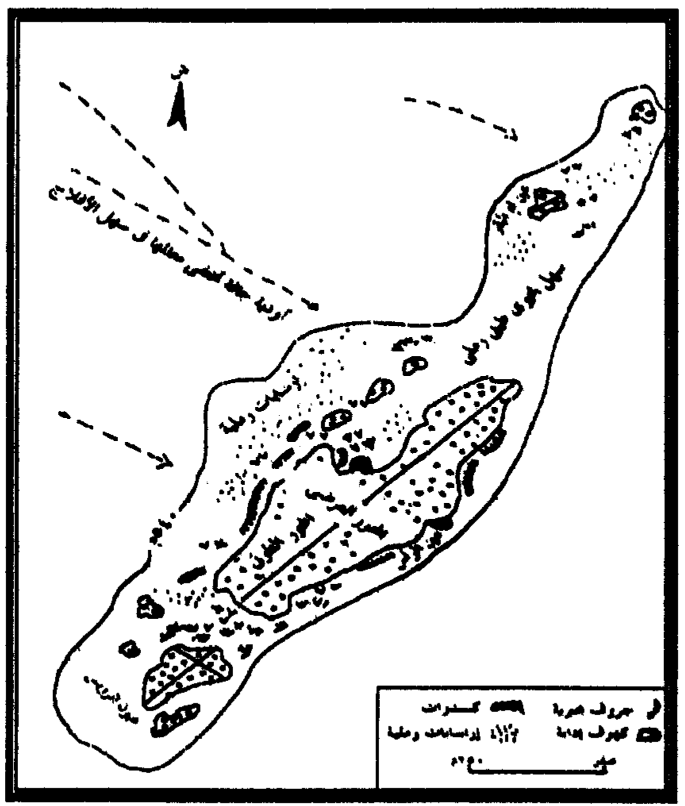
معامل طاقة التضرس : *Relief Energy Ratio*

يمكننا الحصول عليه من خلال النسبة بين عمق الحفرة وقطرها، وإذا كان قطر الحفرة يمكن قياسه ميدانياً أو من خلال خريطة تفصيلية أو صورة جوية فيفضل أن يقتصر قياس العمق فى الميدان بطرق القياس المعروفة حيث يصعب بل يستحيل قياسه بدقة من الخرائط أو الصور الجوية لصغر هذه الظاهرة وضحولة معظمها.

ويرى كل من Coleman و Balchin أن منحنى الحفر الغائرة الذى ينشأ بمعلومية إحداثين أحدهما يمثل العمق والثانى يمثل طول القطر سيكون خطاً مستقيماً إذا ما كانت حفرة إذابة، وإذا ما ابتعد عن الخط المستقيم تكون الحفرة ناشئة بفعل الانهيار.

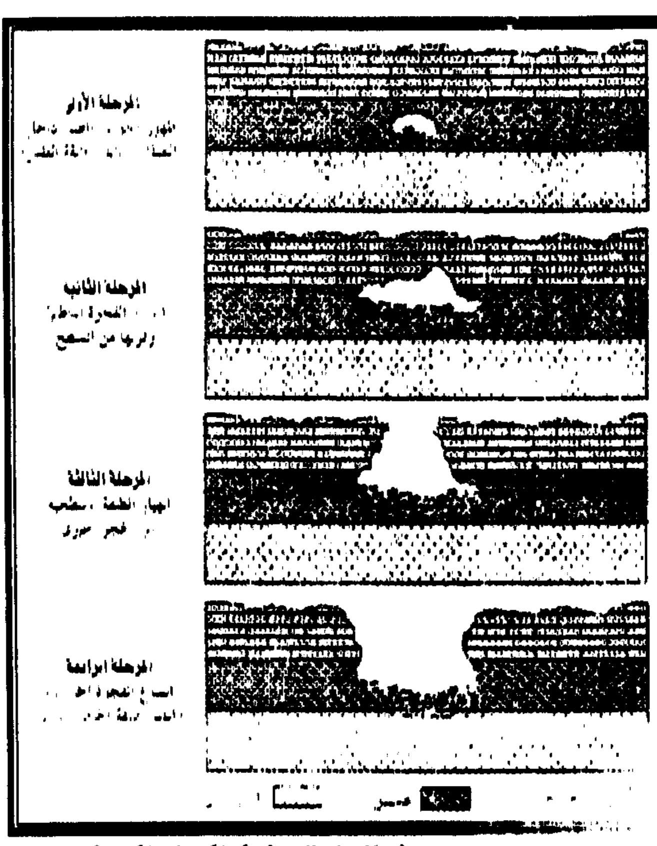
وقد أظهرت دراسة عودة لجيومورفولوجية الجبل الأخضر بليبيا نتائجاً مطابقة للعلاقة السابقة، فقد أظهرت خطوط العلاقة بين العمق والقطر عدم انتظام فى شكلها – عدم استقامة – كما أظهرت الدراسة كذلك وجود علاقة بين عمر الحفرة ومعدل طاقة التضرس وذلك فى حالة حفر الانهيار، حيث أنه كلما صغر هذا المعدل دل ذلك على تقادم عمر الحفرة الغائرة (عودة، ١٩٨٤، ص٢٧).

وفى دراسة المؤلف الأول بمنطقة التعرية الكارستية فى إمارة الأفلاج "هضبة نجد" قام بقياس معامل طاقة التضرس للبحيرات الرئيسية الأربع باعتبارها حفراً كارستية ووجد أنه يتراوح بين ٠,٠٤٩ فى بحيرة الراس و٠,٢٢ فى بحيرة الرويس وهو معامل طاقة تضرس منخفض، إذا ما تم تمثيله على رسم بيانى فإنه سوف يتخذ خطاً أقرب إلى الاستقامة مما يدل على الأثر الواضح لعمليات الإذابة بجانب الانهيارات المحددة التى تشهدها جوانبها والتى تم التحقيق منها ميدانياً (المؤلف، ١٩٨٦، ص ١٢٥). يراجع الشكل (٢٩).



شكل (٢٩) بحيرات "عيون" الأفلاج بهضبة نجد
بالمملكة العربية السعودية

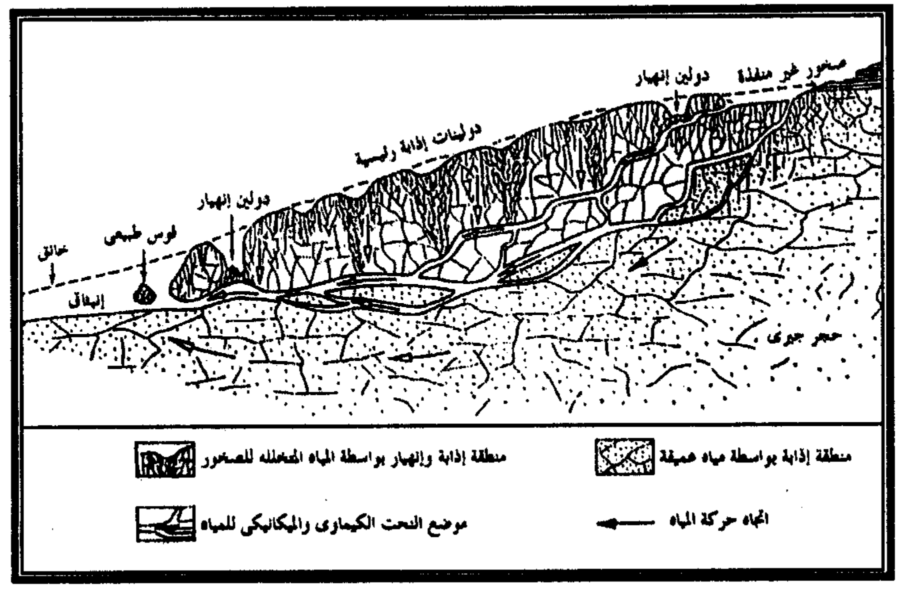
- يمكـــن الحصول على معامل استطالة الحفر الغائرة وذلك بالحصول على طول الحفر – المحور الطولى – مـــن الخريطة التفصيلية أو من القياس الميدانى ونفس الشيء يتم للحصول على العرض، ويستخدم نتاج هـــذا القـــياس للدلالة على شكل الحفرة وكذلك يستخدم لتحديد إمكانية الامتداد السطحى وتلاحم الحفـــر ببعضـــها وذلـــك مـــن خـــلال تحديد محاور أكثر جوانب الحفر تراجعاً وتحديد مدى تماشيها مع الانحدار العام للمنطقة وميل الطبقات بها.
- يمكـــن عمل قطاعات عرضية أو قطاعات طولية للحفرة بنفس الكيفية التى يتم بها عمل قطاعات ميدانية للأودية أو السفوح خاصة للحفر قليلة العمق وذلك لتحديد أبعادها وتحديد اتجاهات ميل المحـــور وعلاقته بانحدار السطح وميل الطبقات وعلاقته كذلك بالصور التركيبية خاصة الصدوع والشقوق حيث توجد بعض الحفر تضافرت فى تكونها وفى تشكيلها الصدوع مع الإذابة والانهيار كمـــا يظهـــر الشكل (٣٠) تكون حفر الإذابة بفعل المياه الجوفية وانهيار الطبقة الجيرية العلوية، كذلـــك يمكن تحديد أقصى اتساع للحفرة عن القاع وحساب العلاقة بين مساحة الفتحة العلوية ومســـاحة القاع وذلك لدراسة وتتبع معدلات تراجع جوانب الحفرة وتحديد دور الإذابة والا' فى عملـــيات التراجع، كذلك يمكن عمل قطاعات لجوانب الحفرة وتحليلها وذلك لتحديد ما إذا كانت حفرة إذابة أم حفرة انهيار.



تكون حفر الإذابة بفعل المياه الجوفية وانهيار الطبقة الجيرية العلوية

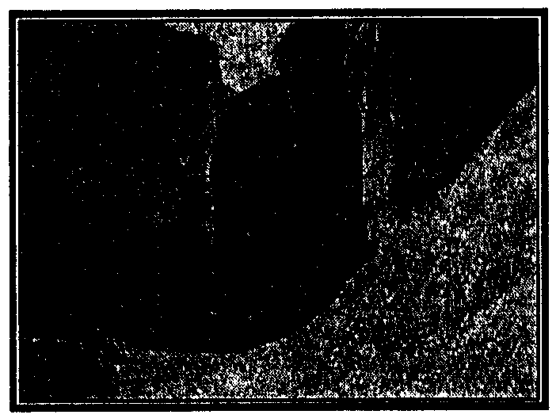
- يمكن من الملاحظات الميدانية تحديد بعض الخصائص التى تميز حفر الإذابة من حفر الانهيار حيث يلاحظ فى الأولى خلو قاعها تقريباً من الكتل والمفتتات الصخرية بأحجامها المختلفة إلى جانب تميز جوانبها بنعومتها وتكون أغشية مغايرة للون الأصلى للصخر بسبب التجوية الكيماوية بينما تتميز الحفر الناتجة عن الانهيار بتراكمات من المفتتات الصخرية فى قيعانها أو عند أقدام جوانبها إلى جانب عدم انتظام انحدار جوانبها وخشونتها مقارنة بالأولى. راجع شكل (٣٠) الذى يوضح حفر الإذابة وحفر الانهيار، حيث يوضح شكل (أ) دولن إزاحة وهى حفر نتجت عن تقويض واتساع للشقوق فى الصخور الجيرية التى ترتكز عليها التكوينات التى حفرت فيها الدولين. ويوضح الشكل (ب) دولن إذابة نتجت بسبب حدوث إذابة تدريجية مكرسة للصخور السطحية وهى عادة ما توجد فى مناطق جيرية ذات مناخ رطب مغاير لمناخ منطقتنا العربية وإذا ما وجدت فى سطحنا فستكون ظاهرة موروثة *Inherieted Phenomenon* من فترات كانت أكثر حظاً فى مطرها. ويوضح شكل (جـ) دولن انهيار نتجت عن حدوث عمليات تقويض للتكوينات الجيرية التحتية بفعل الإذابة، أدى إلى انهيار الصخور السطحية الجيرية وكثيراً ما تتصل هذه الحفر ببعضها وتكون بالوعة مركبة ويمكن لأصحاب الخبرات العادية تمييز كل هذه المؤشرات فى الميدان، ويوضح الشكل (د) حفرة الدولين بعد زيادة الانهيار واتساعها، يلاحظ منها شدة انحدار جوانبها وامتلاء قاعها بالمفتتات المنهارة بأحجامها المتباينة.

- توضح الخريطة التالية شكل (٣١) عدداً من الحفر الغائرة شمال غرب أورليانز بولاية إنديانا الأمريكية حيث بها دولينات بقطر ١٠٠ قدم وأعماق ما بين ١٠ و ٣٠ قدماً يلاحظ منها أن الشكل السائد للحفر العادة الدائرى والبيضى مع ظهور عدد كبير منها من الدولينات المعقدة



شكل (٣١) حفر غائرة شمالي غربي ولاية أورليانز الأمريكية

- من المعروف أنه عندما تتصل أكثر من "دولن" وتتداخل مـــع بعضـــها يصبح المنخفض أكثر اتساعاً مع جوانب مـــتعرجة شكل (٣٢) تعرف بالأوفالا *Ovala* وهناك مـــا يعـــرف بالـــبولج *Polje* ويعنى بالسلافية السهل (مـــاكس ديـــروو، مترجم، ص١٦٣)، وتبدو كسهل كارستى مغلق يتراوح اتساعه بين بضع مئات من الأمتار وبـــين بضـــعة كيلومترات بينما يبلغ طوله ما بين عدة كيلومترات وبضع عشرات من الكيلومترات مع جوانب شديدة الانحدار بينما يتميز القاع بالاستواء وتراكم مفتتات كلسية، وقد يخترقها نهر ولكن ليس له مخرجاً.



شكل (٣٢) حفر البولج الناتجة عن اتصال أكثر من حفرة غائرة

(ب) الكهوف الكارستية :

الكهـــوف الكارســـتية ببساطة عبارة عن فتحات تؤدى إلى ممرات تحت سطح الأرض مقتفية فى امتدادها الفواصل *Joints* والشقوق الصخرية خاصة وأن الأخيرة تحدد أنماط الكهوف وأشكالها المختلفة.

وعـــادة ما تظهر الكهوف الضخمة فى المناطق الجيرية خاصة فى المناطق الرطبة وإن كثرت فى صـــحارينا الجافة المدارية كنتاج لعمليات تعرية كارستية قديمة أو نتاج فعل المياه الجوفية الحالية مثل تلك الموجودة بالواحات البحرية وجبل أبو رواش وهضبة المقطم وهضبة الأهرام ووادى سنور وغيرها الكثير.

وهـــناك كهوف تمتد لمسافة تزيد على مئات الكيلومترات مثل كهف ماموث بولايه كنتكى الأمريكية بطول ٣٠٥ كيلومترات وكهف كارلسبار بنيومكسيكو بطول ٤٠٠٠ قدم واتساع ٦٠٠ قدم مع ارتفاع نحو ٣٠٠ قدم.

وتعـد الكهـوف مـناطق لإعـادة ترسـيب الكربونات والأووز فى الشقوق المنتشرة بأسقفها وحوائطهـا فتتكون بالكثير منها الأعمدة الترافرتينية الصاعدة ***Up Ward Growing Stalagmites*** والأعمدة الترافرتينـية الهابطة ***Down Ward Growing Stalactites*** والتى قد تتصل ببعضها لتكون أعمدة تمتد من السقف حتى أرضية الكهف باستقامة أو بميل، وقد تترسب تراكمات من المتبخرات فى قاع الكهف.

وتتم الدراسة الميدانية للكهوف على النحو التالى :

- تحديد مواضعها ومناسيبها بالنسبة للمنطقة فهناك كهوف عند حضيض الحافات والبعض على مناسيب أعلى.
- قـبل تحديـد مواضـع الكهـوف لابد للدارس أن يكون لدية دراية كاملة بالوضع الجيولوجى والتركـيبى للمـنطقة وخصـائص الشـقوق والفواصـل بالمنطقة إلى جانب الدراية بالخصائص المورفولوجية للمنطقة.
- يـتم قـياس الأبعـاد المورفومترية للكهف مثل اتساع فتحته والشكل العام لها وذلك من خلال القياس الميدانى واستخراج معاملات الشكل وطول الكهف داخل السفح ودرجات انحدار قاعه.
- تسجيل بعض الملامح المورفولوجية المرتبطة بالكهف مثل وجود مَنافس – فتحات رأسية إلى أعلى – أو حدوث انهيارات داخلية من خلال تراكم كتل أو مفتتات صخرية من عدمها وكذلك تسجيل النوازل والصواعد إن وجدت ويمكن أخذ عينات صخرية لتحليلها معملياً من الأعمدة أو من قاع الكهـف، وتتبع الشقوق داخل الكهف واتجاهاتها وتحديد دورها فى تشكيل المجال الداخلى والذى عادة ما يتجه للضيق نحو الداخل.
- وتوضـيحاً لما سبق فقد قام المؤلف الأول بدراسة لكهف (غار) النشاب بجبل قارة بواحة الإحساء بالسـعودية وقـد اعـتمدت الدراسة على القياسات الحقلية (الميدانية) والقياسات من الخرائط التفصيلية وتمثلت نتائج الدراسة فما يلى :
  - ➢ يمتد الكهف بالجانب الشرقى لجبل قارة شكل (٣٣) مع تشعبه داخله لمسافة تصل إلى كيلومتر ونصف.
  - ➢ تمتد بالسقف تشققات رأسية إلى أعلى، قد ساعدت هذه التشققات والفواصل الصخرية التى يتميز بها موضع الكهف فى صخور الحجر الجيرى على حدوث انهيارات لكتل صخرية بمدخل الكهف وعلى طول امتداده داخل جبل "قـارة".

- لوحظ امتداد فتحات فى سقف الكهف مع استقامة أعليها وتعامدها على امتداد الكهف الرئيسى وزيادة كثافتها بالجانب الجنوبى منه.
- تمتد عـــلى طول قاع الكهف قنوات ضيقة تنتشر فى قيعالها تراكمات حصوية مستديرة *Rounded Gravels* ربما تدل على حدوث نحت مائى ميكانيكى نشط فى مرحلة عمرية سابقة.

شكل (٣٣) كهف "النشاب" بجبل قارة بواحة الإحساء بالمملكة العربية السعودية

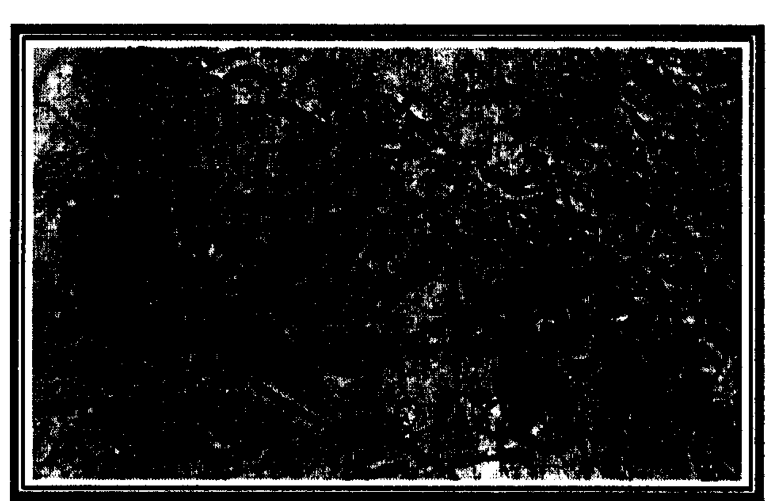
- تظهـــر أعــلى قمــة جــبل قـــارة التى يوجد كهف النشاب بها سطح متقطع بشقوق تمتد فى نمـــط شـــجرى بأعماق تصل إلى أربعة أمتار فى المتوسط مع اتساعات تصل إلى بضعة أمتار ممـــا يؤكــد نشـــاط التعرية المائية القديمة، كذلك تظهر بعض الحفر الكارستية (حفر الإذابة) الـــتى تعـــرف محلـــياً بـــالدحول تتميز بشكلها القمعى وقد يظهر ممتدة فى شكل طولى فيما يشـــبه حفـــر الأوفـــالا *Ovala* صـــغيرة الحجـــم، وربما تكون نتيجة اتصال أكثر من دحل أو نتجـــت عـــن اتســـاع أحـــد الشـــقوق الـــتى توجـــد فوق قمة جبل قارة شبه المستوية (للاستزادة راجع محمد صبرى محسوب، ١٩٩٠، ص١٢٠).

كذلـــك قام سمير سامى بدراسة جيومورفولوجية اعتمدت كثيراً على القياسات والملاحظات الميدانـــية للكهـــوف والبالوعات جنوب عمان بمنطقة ظفار يمكن الرجوع إليها للإفادة من كيفية تفهم نشأتها والظروف البيئية الملائمة لها (سمير سامى، ٢٠٠١).

إلى جانب ما سبق توجد ظاهرات كارستية عديدة فى منطقتنا مثل حقول الجلاميد *Boulders Fields* وهى مسطحات واسعة تنتشر فوقها جلاميد مستديرة الشكل أو شبه مستديرة ترجع فى نشأتها إلى تعـــرض الصـــخور الجيرية – التى تحوى داخلها عقد أودرنات صخرية *Concretions* من الظران أو الصوان الأكثر صلابة من الحجر الجيرى نفسه والأقل قابلية للإذابة – لعمليات إذابة كيماوية بفعل مـــياه المطـــر أو المياه تحت الأرضية مما يؤدى إلى ذوبان الحجر الجيرى بمعدل أسرع من العقد الظرانية بحيـــث يـــنخفض السطح الجيرى وتبقى الجلاميد بأحجامها المختلفة فوق السطح الجيرى، وقد تظهر بكاملها أو تكون أجزاءاً منها مغروسة فى الحجر الجيرى.


لوحة (٢٦) ظاهرة البطيخ المسخوط بالهضبة الجيرية في صحراء مصر الشرقية

ويوجد مثل هذا المظهر فى مساحات واسعة من الهضبة الجيرية فيما بين وادى النيل والوادى الجديد ويطلق عليها هنا "البطيخ المسخوط". لوحة (٢٦) التى تبين هذه الظاهرة بوادى الأسيوطى بالصحراء الشرقية، كذلك تنتشر الأسطح الجيرية المشرشرة فى المناطق الجيرية التى تختفى منها الغطاءات النباتية، حيث تتميز بتضرسها وعدم انتظامها وتبدو فى شكل أسطح منفصلة عن بعضها بقنوات غائرة نتجت أساساً عن عمليات إذابة على طول امتداد شقوق أرضية ساعدها على ذلك درجة النفاذية العالية التى يتميز بها الحجر الجيرى وتوجد فى مناطق كثيرة من الهضاب الجيرية المصرية ويمكن تتبعها ميدانياً بالقياس فى مناطق حيث لا يتضح فى الخرائط وتصعب تحليلها من الصور الجوية، وجدير بالذكر أنه نظراً لفترات الجفاف التى تسود المنطقة فى الوقت الحاضر والممتدة من آلاف السنين فقد لعبت التعرية الريحية دورها فى إعادة تشكيلها.


لوحة (٢٧) الأرصفة الجيرية المحززه قرب غزير فى جبال لبنان

وفى دراسة لتهامى عن الظاهرات الكارستية فى لبنان ١٩٦٧ قام بدراسة وتحليل العديد منها معتمداً فى جزء كبير على الملاحظة والقياس الميدانى، ومن أهم الظاهرات التى درسها؛ الأرصفة الجيرية والضلوع الكارستية، الأولى هى عبارة عن أرصفة من صخور الحجر الجيرى مستوية أو شبه مستوية تتحزز فى مواضع الفواصل فى مساحات محدودة ترتبط بصخور الحجر الجيرى المارلى فى المنطقة مجال الدراسة (ممدوح تهامى، ١٩٦٧، ص١٧)، وقد أكدت دراسته على أن هناك مجموعة من الشروط الواجب توافرها لظهور مثل هذه الأرصفة مثل الصخور الجيرية كثرة الفواصل خاصة النوع المتقاطع منها أو النوع المتوازى مع خلو الأسطح من أغطية المفتتات الناتجة عن التجوية، إلى جانب أهمية خلوها من النباتات بحيث يُعطى المجال لتغلغل المياه وزيادة فعاليتها فى عمليات الإذابة. لوحة (٢٧)

كذلك درس ضمن ما درس ميدانياً الضلوع الأرضية (وهى ثلمات أو تحززات متوازية وشبه متوازية) فـوق أسـطح الصـخور الجيرية شديدة الانحدار وهى ما يطلق عليها بالألمانية ***Rarren*** وبالفرنسية *Lapies* والبوجاز بلغة السلاف (للاستزادة المرجع السابق، ص١٩).

وتوضـح اللوحـة (٢٨) أحـد الكهوف الكارستية بالجبل الخضر بليبيا ممكن قياس أبعاده وخصائصه المورفولوجية ميدانياً بنفس كيفية دراسة الكهوف بشكل عام.



لوحة (٣٨) كهف كارستى بالجبل الأخضر فى ليبيا

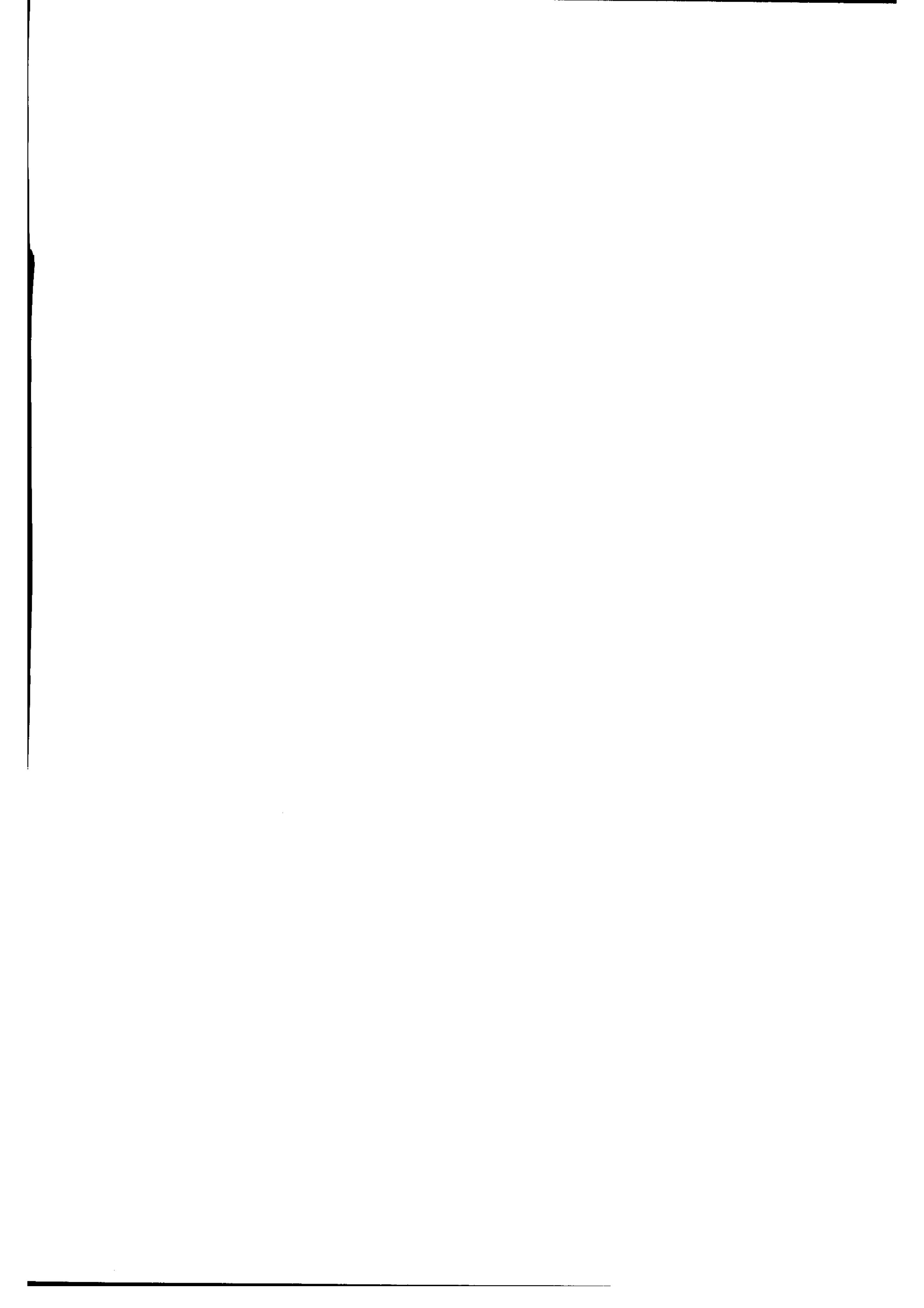
الفصل الخامس

قياسات وتجارب ميدانية ومعملية للأشكال الأرضية المرتبطة بالرياح

أولاً : الأشكال الناتجة عن النحت الرياحى وطرق دراستها ميدانياً ومعملياً.

ثانياً : الأشكال الناتجة عن الإرساب الرياحى وطرق دراستها ميدانياً ومعملياً.

ثالثاً: قياس حركة الرمال فى الحقل والمعمل.



مقدمة :

عندما تهب الرياح حاملة معها الرمال والأتربة ومحركة الحصباء باتجاه منصرفها فإنها تقوم بعملها الجيومورفولوجى فى نحت الأسطح الصخرية التى تمر عليها أو تقابلها وتؤدى بالتالى إلى صقلها وبريها أو تقوم بتشكيل العديد من الملامح المورفولوجية التى ترتبط بها.

ومن الأشكال المرتبطة بالحت الريحى الأرصفة الصحراوية وثقوب الرياح والحصى الهندسى والتحززات الرياحية والياردنج والزيوجين وغيرها.

وعندما تقوم الرياح بترسيب حمولتها فإن ذلك لا يتم بشكل عشوائى وإنما توجد أنماط محددة ترتبط بنظم الرياح السائدة أكثر من ارتباطها بطبوغرافية السطح.

ويرى البعض أنه من الممكن توقع كيفية حدوث عمليات الترسيب ومواضع حدوثها من خلال وضع نظام خاص بحركة الرياح وعمل عدد كبير من محصلات انسياق الرمال فى منطقة ما *(Derbyshire, and Others, 1978, p.17)*.

وجدير بالذكر أنه لابد من دراسة عدة عناصر لكى يتسنى لنا تفهم الأشكال الناتجة عن الإرساب الهوائى وخاصة الكثبان الرملية مثل خصائص السطح الذى ينتشر فوقه الرمال وكذلك دراسة المناطق الواقعة بينها والتى عادة ما تغطى برواسب رملية تختفى فى أغلب الأحوال تحت التكوينات الحصوية الخشنة.

وتعد دراسة العلاقة بين اتجاه الرياح وقوتها من جهة وكميات الرواسب من جهة أخرى ذات أهمية كبرى فى تفسير خصائص الكثبان الرملية من حيث الشكل وكيفية التكون والتشكيل وهكذا فإنه من الضرورى الاهتمام بتفهم نظم الرياح السائدة ومصادر الرمال المحلية، ومن المهم أيضاً توضيح مدى الاختلاف بين أثر كل من الرياح القوية والرياح الضعيفة. وهنا يمكن أن نشير إلى أن *Bagnold* قد حدد السرعة القوية بالنسبة للرياح بأنها تلك التى تزيد على ٢٥ سنتيمتر فى الثانية وذلك عند ارتفاع ٠,٣سم من السطح وإن كان هذا يعتمد كما ذكر *Bagnold* نفسه اعتماداً جزئياً على خشونة السطح ونوع الصخور والغطاء النباتى بحيث إذا ما زادت درجة خشونة السطح *Surface Roughness* فإن الرياح تهدأ قبل بناء الكثيب، وعلى ذلك فإن بناء الكثبان وتكوها فى المناطق التى تتميز بخشونة سطحها يكون أقل احتمالاً مقارنة بإمكانية تكونها فوق السطوح الأقل خشونة والتى تتميز بالاستواء. وعادة ما تعتمد الرياح البانية للكثبان إلى العمل على زيادة حجم الكثيب، ومن ثم يطلق عليها الرياح البانية للكثبان، بينما تؤدى الرياح الضعيفة إلى زيادة طول الكثيب على امتداد كتلته *(King, C., A., H., p.134)* إلى جانب أهمية فهم طبيعة الرياح من حيث الاتجاه والسرعة وعلاقة ذلك بتفهم الأشكال الرملية الناتجة عن الإرساب الهوائى، فإنه من الضرورى أيضاً الإلمام بتفاصيل اكثر عن نسب وفترات سكون الرياح وفترات فوقها وعمل مقارنة بينها.

وعـــندما تترسب الرمال أثناء عملية نقلها فإنها تأخذ شكل تموجات رملية أو ما يعرف بنيم الرمال ***Ripples*** أو قد تشكل كثباناً عرضية ***Trensverse Dunes***، وهذا الترسيب المؤقت ينتج عن حركتين هما حركة القذف الناتج عن اصطدام حبيبات الرمل القافزة فوق سطح غير منتظم نسبياً مع تراكم رملى فى الجانب المواجه للرياح أكبر منه فى الجانب المظاهر (للاستزادة، محمد صبرى محسوب، ٢٠٠١، ص ص ٢٩٦-٢٩٩). والحركات الايروديناميكية التى ينتج عنها ثلاثة أشكال من الإرساب الرمـــلى تتباين فيما بينها من حيث الحجم وهى تموجات صغيرة أثبت باجنولد من تجاربه المعملية أنها تظهر عندما تثار الرمال بفعل الرياح وكذلك كثبان رملية عادية وكثبان ضخمة.

وبشكل عام تتعدد الأشكال الرملية المرتبطة بالترسيب الرياحى وتتراوح بين تموجات خفيفة (نـــيم الرمال) أقل من بضعة سنتيمترات وكثبان ضخمة ***Mega Dunes*** تزيد ارتفاعاتها على ١٥٠ مـــتراً، كذلـــك تخـــتلف الأشـــكال الرملية وتتنوع من كثبان هلالية وكثبان طولية ونجمية وكثبان عرضـــية وكثـــبان الظـــل وغيرهـــا ممـــا يستوجب معرفتها ميدانياً وقياس أبعادها واستنتاج كيفية نشـــأتها ومتابعة حركتها وقياس معدلات التحرك كما يمكن قياس أبعادها وتطور أحجامها والعمليات التى تتم على كتلة الكثيب من إزالة وردم وغيرها.

أولاً : الأشكال الناتجة عن النحت الرياحى فى الميدان والمعمل :

(أ) الأصفة الصحراوية :

تـــبدو فى الطبـــيعة كـــنطاقات متسعة ومستوية تقريباً تغطى بطبقة رقيقة من الرمال الخشنة المختلطة برمال ناعمة (قطر الحبة نحو ٠,٠٦ من المليمترات وقد تُغطى بحصى وشظايا صخرية).

وتعد الأرصفة الصحراوية ***Desert Pavements*** من الأدلة الواضحة على دور الرياح الهام كعامل نحت فى المناطق الجافة.

تظهـــر الأرصـــفة الصـــحراوية فى مـــناطق عديدة من الصحراء الغربية فى مصر ومناطق بالصحراوين الشرقية وسيناء فى مصر، وكذلك فى الصحارى المدارية الأخرى بالجزيرة العربية وشمال أفريقيا واستراليا فى الأخير يعرف بسهول الجيبرر.

وتمر الأرصفة الصحراوية بثلاثة مراحل فى تطورها الجيومورفولوجى :

المرحلة الأولى :

ظهور سطح تعرض للتجوية فتكونت فوقه توضعات من الحصى مختلطة حبات الرمل بأنواعها المختلفة (أحجامها المختلفة).

المرحلة الثانية :

تشـــتد عمليات التذرية بفعل الرياح *Wind Deflation* مما يؤدى إلى إزالة الحبيبات الرملية باستثناء ما يحتمى من الرواسب الناعمة فى الفراغات البينية للحصى وأسفله.

المرحلة الثالثة :

تتوقف عمليات التذرية بحيث يُغطَى السطح برواسب خشنة من حصى ورمال محمية أو رمال خشنة لم تستطع أن تحركها أو تزيلها.

وقـــد قام *Bagnold* بتجربة معملية لاحظ فيها تركز المواد الخشنة على سطح رملى تعرض لهـــبوب تيار هوائى، حيث اندفعت الرمال متوسطة الحجم ٠,٣ مللم أما حبات الرمال الخشنة بينما استقرت الرمال الناعمة (٠,٠٦ مللم)محتمية بين الحبات الرملية الخشنة (أكبر من ٠,٥ مللم) والتى يصعب تحريكها بدون هبوب رياح قوية ومن هنا استنتج ظهور الأسطح المكونة من رمال خشنة مختلطة بـــرمال ناعمـــة مع ندرة واختفاء الرمال المتوسطة الحجم، وكثيراً ما تظهر فوقها جلاميد **Boulders** وحصى وحصباء (محمد صبرى محسوب، ٢٠٠١، ص٢٧٤).

وفى المـــيدان يمكـــن عمل قياسات تتمثل فى تحديد منسوب سطح الرصيف بالنسبة للمناطق المحيطة ويمكن الاستعانة بخريطة كنتورية تفصيلية لتحديد المنسوب العام للرصيف، كذلك يمكن تحديد معـــدل التذرية بالرصيف الصحراوى من خلال أخذ عينات من الرمال من مواضع مختلفة ومتباعدة وحساب نسبة المواد الخشنة بالنسبة للرمال الناعمة وكلما زادت نسبة الرمال الخشنة فإن ذلك يدل عـــلى زيادة فى فعالية وقدرة الرياح على التذرية، وبقسمة وزن الرمال الخشنة على وزن عينة الرمال الناعمة فإن الناتج إذا ما زاد على رقم (١) دل ذلك على زيادة عملية التذرية السائدة.

وجديـــر بالذكـــر أنه فى حالة وجود حبات صخرية بنفس الكثافة النوعية (*) – ذات كثافة نوعية واحدة – وموجودة فى نطاق هوائى متجانس فى كثافته التوعية أيضاً فإن حجم الحبات فى هذه الحالة سيكون العامل الرئيسى الذى يلعب دوره مع الجاذبية الأرضية والتى تساوى ٩٨٠ سم/الثانية.

كذلـــك هناك علاقة بين الحبات المتجانسة فى كثافتها النوعية من حيث حجمها وبين سرعة الـــرياح المطلوبة لبدء تحركها، فالحبات ذات الأقطار الأكبر حجماً من المليمتر تتطلب رياحاً تتراوح سرعتها ما بين ٩,٨ – ١٢,٤ متر/ ثانية وذلك لكى تبدأ فى تحريكها (**).

(*) الكثافة النوعية لرمال الكوارتز يبلغ ٢,٦٥ جرام/سم³ وهناك معادن أثقل وزناً مثل الماجنيتيت ومعادن أخف وزناً مثل الجبس.

(**) عادة ما تتحرك مع رياح تهب فى تيار سريع بين عقبتين.

ومن ثم فإن الدارس فى الميدان عليه أن يعرف أحجام الحبيبات السائدة من خلال أخذ عينات بالطرق المعروفة وتحليلها حجمياً لتعطيه مؤشراً على معدلات تحركها بواسطة رياح متحركة بسرعات معيـــنة، كذلـــك يمكنه عمل أعمدة رسوبية فى مواضع من الرصيف الصحراوى لتحديد سمكه وتتبع أحجـــام الرواسب من أعلى إلى أسفل، كذلك يمكنه ميدانياً تحديد خصائص المواد المتلاحمة من حيث درجة مقاومتها لعمليات النحت وذلك بأخذ عينات من تلك المكونات المتلاحمة وتحليلها معملياً فإذا ما كانـــت نسبة الصلصال ما بين ٢٠ – ٣٠٪ والغرين من ٤٠ – ٥٠٪ والرمل ما بين ٢٠ –٤٠٪ يكـــون هذا التكوين المتلاحم أكثر التكوينات قدرة على مقاومة نحت الرياح عكس الحال مع اختفاء الصلصـــال وسيادة الغرين الرمل فى المادة اللاحمة وهذه التكوينات المتلاحمة يقصد بها تربة أو رواسب سطحية متماسكة وهى بدورها تختلف عن الصخور الرسوبية أو النارية القديمة التى لا تتعرض لنحت الرياح منها سوى الطبقات السطحية المكشوفة (محمد صبرى محسوب، ١٩٩٧، ص٢٧١).

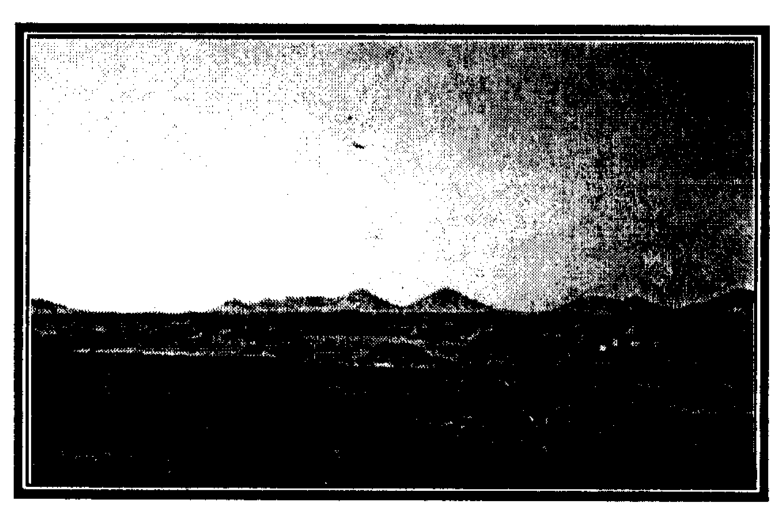
وفى هذا السياق يجب ذكر أن عملية التذرية تنتج عن قوة دفع للتيارات الهوائية واحتكاكها بالسطح والتقاطها للحبيبات الدقيقة التى يسهل حملها بالطرق المختلفة.

أما البَرّى فتقوم به الرياح المسلحة بحبيبات الرمال والتى تستخدمها كأدوات ***Abrasive Tools*** لبرى وكشط الصخور.

وقـــد أوضح شارب ***Sharp*** أن معدل البرى يزداد بدرجة كبيرة عندما تتوافر حمولة كبيرة للرياح وعلى مناسيب قريبة من سطح الأرض.

(ب) الياردنج : *Yardangs*

من الأشكال المورفولوجية صغيرة الحجم والتى تنتشر فى الصحارى المدارية بحيث تبدو فى شكل حافات طولية ضيقة ومنفصلة أو متوازية فيما يمكن أن نسميه حقل ياردنجات لوحة (٢٩).

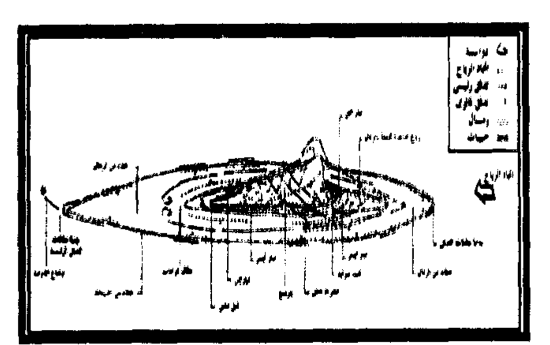


لوحة (٣٩) مجموعـة مـن اليـاردنـج

ومـــا يعنينا هنا دون الخوض فى دراسة نشأتها أن نحدد كيفية قياسها فى الميدان وتحديد كيفية قيام الرياح بتشكيلها وتعديل أبعادها مع العلم مسبقاً أنها عادة ما تمتد فى موازاة الرياح السائدة كما يتضح ذلك من الشكل (٣٤) والصورة (٣٠).



لوحة (٣٠) إحدى الياردنجات النموذجية بمنخفض الواحات البحرية



شكل (٣٤) كيفية نحت الرياح للياردنج وتطور شكلها

(١) قياس الأبعاد:

يمكـــن أن تقـــاس أبعادها المتمثلة فى الطول والعرض والمساحة التى تشغلها والطول الموجى – المسافات البينية – من خلال موزايك الصور الجوية (*).

وفى الميدان يمكن قياس طول الياردنج ومتوسط عرضه وارتفاعه بسهولة بواسطة شريط تيل وشواخص، كما تقاس الانحدارات جوانبها ومقدماتها ومؤخراتها.

ويمكن حساب مساحة الياردنج من الميدان من خلال المعادلة التالية :

مساحة الياردنج = طول الياردنج × متوسط عرضها

والأخيرة يتم من خلال عمل ثلاث قياسات فى مواضع معينة على طول امتدادها خاصة مع عدم انتظام عرض الياردنج فى معظم الأحوال.

كذلك يمكن حساب حجم الياردنج من المعادلة التالية :

حجم الياردنج = المساحة × الارتفاع

(*) علماً بسهولة قياسها من الصور الجوية فى حالة كبر أحجامها.

(٢) ويمكـــن بعـــد ذلـــك حساب متوسطات الأحجام ومتوسطات المساحة (*) ومتوسطات الأبعاد المخـــتلفة وكذلـــك الانحراف المعيارى وغيرها من بيانات إحصائية لدراسة الصورة العامة لحقل يـــاردنج فى مـــنطقة مـــا ودراســـة العلاقات الارتباطية بين الأبعاد المختلفة ومعرفة الخصائص المورفومترية والمراحل التطورية التى تعيشها الظاهرة.

(٣) ويمكن من خلال القياس تحديد البعد الرئيسى المتحكم فى الأبعاد الأخرى للياردنج.

مثـــلما حدث فى معظم الدراسات التى تمت على الياردنج بالصحراء الغربية فى مصر، فقد وجد أن الطول يمثل البعد الرئيسى الذى يرتبط فى علاقات ارتباطية موجبة مع العرض والارتفاع.

ويمكـــن حســـاب العلاقة بين شكل الياردنج وذلك من خلال تحديد معامل الشكل والممثل فى العرض إلى الطول، والعملية الجيومورفولوجية التى شكلتها.

(٤) وفى هذا الشأن ذكر كل من *Ward and Greeley, 1984, p.836* بأنه إذا ما كان معامل الشكل فى الـــياردنج أكبر من ١/٤ فيدل ذلك على ضيق الياردنج وبالتالى يدل على زيادة فعالية عمليات النحت وإذا ما قلت النسبة عن ١/٤ يدل على ضعف عمليات النحت.

(٥) كذلك تدل زيادة المسافات البينية (الطول الموجى) على زيادة فعالية النحت وتراجع جوانب الياردنج.

وفى المـــيدان كذلـــك يـــتم اخذ عينات من مناسيب مختلفة من الياردنج وتحديد خصائصها الحجمـــية والكـــيماوية مـــن خـــلال التحليل المعملى للإفادة من نتائج التحليل مع تفهم الخصائص المورفولوجية والمورفومترية للياردنج.

(جـ) الموائد الصحراوية " الصخور الارتكازية " : *Pedestal Rocks*

تتشكل الموائد الصحراوية *Pedestal Rocks* من كتل صخرية متبقية من سطح تحاتى قديم أعلى منسوباً من المستوى الحالى، وعندما تتعرض الكتل الصخرية المتبقية للبرى بفعل الرياح فإنها تأخذ أشكالاً متميزة ترتبط أشكالها بخصائص صخورها من حيث الصلابة أو التباين فى صلابتها (كأن تتعاقب صخور صلبة مع صخور لينة)، ومن حيث تعرضها للتشققات وكذلك ترتبط بسرعة الرياح ودرجة فعاليتها فى النحت وفى مدى انكشاف الأسطح التى تهب فوقها.

وفى مناطق كثيرة من صحراء مصر الغربية تظهر الموائد الصحراوية مكونة من طبقات صلبة مـــن الحجر الجيرى تتعاقب مع طبقات طفلية أقل صلابة، ومن ثم يختلف معدل تآكل جوانب المائدة الصـــخرية حســـب طبيعة صخورها وحسب الارتفاع وكذلك تبعاً لمواجهة الجانب للرياح السائدة، حيث تقوم الرياح بالنحت على ارتفاعات محددة ويظهر تأثيرها بوضوح فى حالة ما إذا كانت الطبقة السفلى مكونة من صخور طفلية لينة.

(*) يمكن حساب مساحة سطح الياردنج وحساب المساحة التى تشغلها القاعدة وإيجاد العلاقة بينهما.

ويمكن فى الميدان قياس معدلات التراجع لجوانب المائدة الصخرية بالنحت فى الطبقات الصخرية المختلفة وذلك باستخدام شريط من الكتان وشاخص من الخشب أو البلاستك بطول مترين أو ثلاثة.

ويوضح الشكل (٣٥) كيفية متابعة دور الرياح فى نحت صخور متعاقبة الطبقات بمائدة صحراوية غربى منخفض سيوة، ويلاحظ فيها :



المصدر: إحسان سعيد، ٢٠٠٥

شكل (٣٥) دور الرياح فى نحت الصخور المتعاقبة بمائدة صحراوية غرب منخفض سيوة

(١) طبقة من الحجر الجيرى الطلب تعلو طبقة من الحجر الجيرى الحفرى ترتكز على طبقة من الطفل. "راجع اللوحة (٣١) التى تبين المائدة الصحراوية بالشكل السابق رقم (٣٥)".



لوحة (٣١) المائدة الصحراوية المدروسة بالشكل رقم ٣٥ بمنطقة المراقى غرب المنخفض (سيوة)

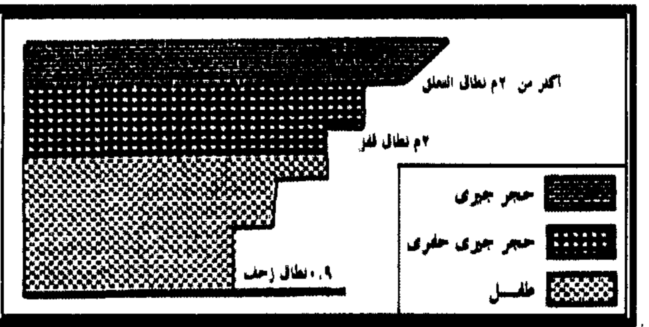
(٢) نلاحظ التراجع فى الجانب المواجه للرياح بشكل متناقص بالارتفاع مع إمكانية تعرض الطبقة العليا للسقوط بعد التراجع للطبقات الأسفل (الحجر الجيرى الحفرى بسمك ٦٠سم، والطبقة الطفلية والجبسية بسمك ٥٠سم السفلية التى تعرضت للتراجع بمعدل أسرع) (إحسان سعيد، ٢٠٠٤، ص١٤٠).

(٣) يمكن من الميدان ملاحظة عدم تراجع الجانب المظاهر للرياح بشكل يمكن مقارنته بالجانب المواجه.

(٤) يلاحظ كذلك استواء قمة المائدة بسبب صلابة الطبقة والعليا الجيرية وعدم ميلها.

(٥) يتضح أن مقدار التراجع بالنحت الريحى يتوقف على الارتفاع عن سطح المنطقة المتاخمة لقاعدة المائدة، فيتضح أن التراجع نتيجة لاصطدام الحبيبات الزاحفة والقافزة يصل إلى ما بين ٠,٩ ومترين حيث تزيد القدرة على النحت بسبب كبر حجم أدوات الحت الممثلة فى الحبات الرملية الزاحفة والقافزة خاصة نطاق القفز الذى يبعد عن مجال الاحتكاك بسطح الأرض مما يزيد من فعالية البرى *Abrasion*.

ويمكن فى الميدان تحديد الارتفاعات بالأمتار أو السنتيمترات – حسب ارتفاع المائدة ومقدار تراجع الجانب المواجه للرياح بالقياس بالأمتار وكذلك للمقارنة قياس التراجع فى الجانب المظاهر مع تحديد أنواع الطبقات الصخرية، كل ذلك يهدف إلى دراسة الارتباط بين هذه العناصر المذكورة، شكل (٣٦) الذى يلاحظ منه تآكل الصخور اللينة وتراجعها بشكل أكبر مع تميز القاعدة باتساعها نتيجة لضعف فعالية الرمال الزاحفة فى النحت.



شكل (٣٦) تأثير الارتفاع عن سطح الأرض على دور الرياح فى نحت الصخور بجبل أم هويمل بواحة سيوة

وتوضح اللوحة (٣٢) أحد الشواهد الصخرية بالواحات البحرية والتى يتضح منها تحيد آلية نحت الرياح للصخور المتعاقبة مع ملاحظة عدم استواء القمة على غير الحال مع الشكل السابق ويرجع ذلك إلى أن أعالى المائدة الصحراوية بالشكل (٢) يتكون من طبقة صلبة جيرية بينما فى اللوحة (٣٢) فإنه يتكون من طبقة طفلية لينة مما جعل القمة غير منتظمة على النحو المبين، يلاحظ من الصورة كذلك شدة تراجع القاعدة المكونة من حجر رملى بسمك ٣٣سم مرتكزة على صخر جيرى وذلك فى نطاق الزحف، وفى القطاع السفلى من نطاق القفز *Saltation Sector* (محمود دسوقى، ٢٠٠٥، ص٩٠).



لوحة (٣٢) أحد الشواهد الصحراوية بالواحات البحرية

ويمكن من الحقل تحديد المراحل العمرية التى تمر بها المائدة الصحراوية من خلال تحديد مؤشرات تدل على ذلك فإذا لم يكتمل الشكل النموذجى للمائدة والمتمثل فى تراجع واضح للقطاع السفلى من المائدة مقارنة بأعاليها مع وضوح قمتها المستوية فى أغلب الأحوال. وإذا ما تسارعت عمليات النحت الريحى مع تضافر عمليات جيومورفولوجية أخرى وعدم قدرة قاعدتها على تحمل أعاليها فتنهار الصخور العليا وتتجه المائدة نحو التلاشى وتصل بذلك إلى نهاية مرحلة الشيخوخة، كما تظهر اللوحة (٣٣) تكون شرفة *Visor* على جانب الطبطاح بالحافة الجنوبية لمنخفض سيوة متجه لتراجع أسفل الحافة (أقدام الجرف).



لوحة (٣٣) تراجع الصخور بجبل الطبطام بالحافة الجنوبية لمنخفض سيوة
مع نحت أقدام الجروف وتكون شرفة جبلية *Visor*

(٤) ورنيش الصحراء : *Desert Varnish*

يقصد بالورنيش الصحراوى ظهور مساحات واسعة من الأسطح الصخرية العارية أو المغطاة بأغشية حصوية أو حصباء تبدو داكنة اللون أو ضاربة إلى الحمرة، وقد نتجت أساساً من تكون راقات من أكاسيد الحديد أو أكاسيد المنجنيز المختلطة ببعض السيليكات، وقد نتجت أصلاً لسببين أساسيين؛ **الأول:** إما نتيجة لصعود مياه تحت أرضية مشبعة بالأكاسيد بحيث تتبخر نتيجة لزيادة طاقة التبخر مع ارتفاع درجة الحرارة، **الثانى:** أنها نتجت بسبب حدوث أكسدة للمكونات المعدنية للطبقة السطحية من الصخر مع زيادة نسبة الرطوبة فى الجو خاصة قرب أسطح البلايا الداخلية أو بالأسطح الصخرية المتاخمة للسواحل كما أن لتكون الندى فى الصباح الباكر دورة الكبير فى تكونها.

ويتمثل دور الرياح هنا فى صقل *Polishing* وتلميع هذه الأسطح من خلال هبوبها فوقها بما تحمله من رمال بحيث تبدو من بعيد كأسطح مائية نتيجة لانعكاس الضوء عليها.

وكما ذكرنا فقد تظهر الطبقة ذات السطح المتأكسد داكن اللون، وقد تظهر الحصوات مغطية لسطح رصيف صحراوى وقد غلفت بأغشية رقيقة من أكاسيد الحديد أو الماغنسيوم أو المنجنيز بحيث تلمعها حبيبات الرمال التى تسفيها الرياح تحت وهج أشعة الشمس، وإذا ما فحصنا ميدانياً حبات الحصى سنجد أسطحها المعرضة للهواء متأكسدة ولامعة عكس الحال مع أوجهها التى ترتكز بها على السطح والتى يختلف ألوانها عن تلك المعرضة للهواء و أشعة الشمس. وجدير بالذكر أن اللون الأسود للحصى أو السطح العلوى دليل على نقص فعالية عمليات التعرية لفترة زمنية طويلة.

وفى الميدان يمكن تحديد مساحات هذه الأسطح المغلفة بالورنيش الصحراوى وتحديد مناسيبها وعمق مستوى الماء تحت الأرضى أسفلها وكذلك تحديد سمك الغلاف المتأكسد من خلال عمل ثقوب ضحلة حيث لا يزيد سمكها عادة على بضع سنتيمترات أو مليمترات. كذلك يمكن أخذ عينات وتحليلها معملياً مع معرفة خصائص الرطوبة النسبية فى مواطن انتشارها وكذلك عنصر الندى ومصادره الرئيسية.

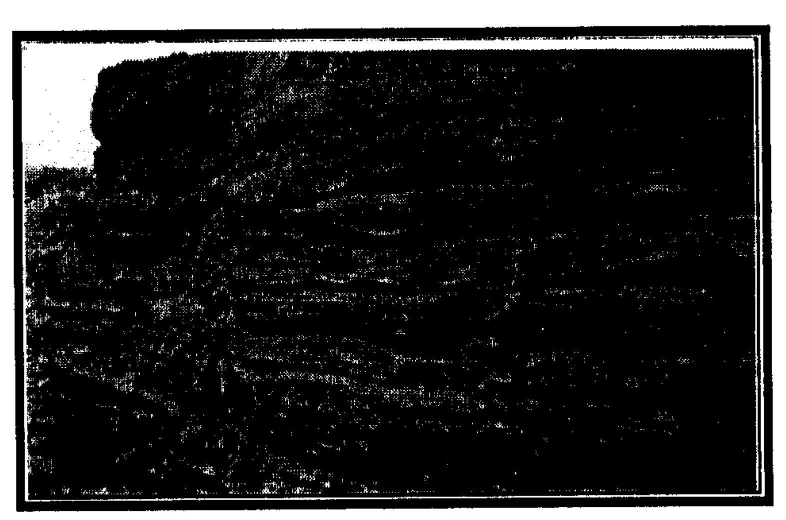
وفى دراسة "لنبيل إمبابى" للورنيش الصحراوى فى منخفض الخارجة ومؤشرات المناخ القديم قام بدراسة خصائصه المورفولوجية والليثولوجية وتحديد أثر المناخ القديم، وقد أظهر أنه يعكس ظروف مناخـــية قديمة وليس للمناخ الحالى دور فيه، ودرسه على أساس فى أراضى ما بين الأودية على طول أقدام الحافة الشمالية الغربية (شمال جبل طارف) وأقدام جبل الطير وعلى تلال الحجر الرملى فى الجزء الجنوبى من المنخفض وغيرها، وقام بتحديد خصائصه الكيماوية وأظهر دور التجوية الحيوية فى تكوينه. (للاستزادة راجع *Embabi, N., S., 1969, pp: 89 - 94*).

(هـ) بعض الأشكال الدقيقة الناتجة عن فعل الرياح من الميدان :

هناك العديد من الملامح الدقيقة الناتجة عن فعل الرياح فى المناطق المدارية الجافة يتمثل أهمها فيما يلى :

(١) التحززات : *Flutes*

تعـــرف كذلك بحزوز الرياح حيث تكون الأخيرة العامل الرئيسى فى تكونها على أن يكون امـــتداد هذه الحزوز على جوانب الأودية أو الحافات أو أى سطح بارز فى موازاة الرياح المشكلة لها. حيـــث تقوم بنحت الطبقات اللينة *Soft Layers* مثل الطفل والمارل المتعاقبة مع تكونات صلبة حيث تـــبقى الأخـــيرة بـــارزة ومحددة لتلك الحزوز، وقد تمتد هذه الحزوز امتدادات طولية نسبياً ويتوقف اتساعها وعمقها على خصائص الطبقة المنحوتة من حيث سمك هذه الطبقة ودرجة ليونتها وكذلك قوة الرياح ومنسوب الشق (الحز) من السطح واتجاه الرياح بالنسبة للسفح المعرض للتحزز.



لوحة (٣٤) تحززات الرياح فى صخور غير متجانسة

وهناك تحززات فى صخور غير متجانسة وهى ما أشير إليها آنفاً كما يتضح باللوحة (٣٤)، وعادة ما تكون عميقة وأكثر اتساعاً مقارنة بتلك الموجودة فى الصخور المتجانسة والتى تبدى مقاومة بدرجة واحدة أمام برى الرياح كما أنها – أى الأخيرة – تتميز عادة بقصرها وضحولتها.

ويتم مقياس التحززات فى الحقل (الميدان) فقط للصعوبة البالغة من قياسها من الصور الجوية أو الفوتوغرافية وذلك من خلال قياس أطوالها ومناسيبها من السطح العام ومتوسط أعماقها على طول امــتدادها وكذلك متوسط اتساعها ودرجة موازاتها مع بعضها. مع الأخذ لعينات صخرية من داخل التحززات والحواف الممثلة للصخور الأكثر صلابة لتحليلها معملياً. ويمكن ملاحظة عدم استمراريتها لأســباب تــتعلق بوجــود قاطع من صخور صلبة أو شق تكتونى على المنحدر الذى تظهر به تلك التحززات (راجع الشكل الخاص بتطور المائدة الصحراوية).

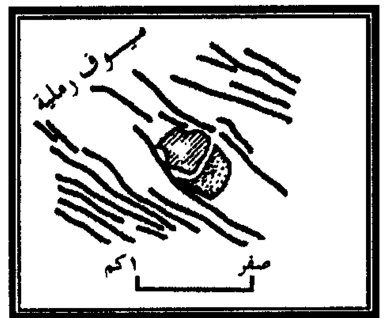
(٣) حفــر التــذريــة : *Deflation Hollows*

حفــر صغيرة الحجم فى معظم الأحوال تنتج عادة من نحت الرياح لأسطح تغطيها تكوينات غير متماسكة أو ضعيفة التماسك من الطين والطفلة وفيها تقوم الرياح بتذرية السطح، وقد تنتج عن حدوث دوامات هوائية دورانية عنيفة أثناء فترات ارتفاع درجات الحرارة وسيادة الجفاف *Drought*.

وتأخذ هذه الحفر أشكالاً متنوعة حسب طبيعة المنطقة موضع الحفر أو حسب قوة الرياح. وعادة كلما صغرت مساحات هذه الحفر قلت أعماقها. وبشكل عام فإن هذه الحفر ترتبط فى امتداداتها وجودها باتجاه الرياح السائدة.

وقد تظهر بين الكثبان الرملية – الممرات الفاصلة بينها – أو قد تظهر فى مناطق منعزلة ترتبط بهوامش الغرود الرملية الهلالية فى مناطق منصرف الرياح ويتراوح اتساعها بين عدة مئات من الأمتار المربعة أو أصغر من ذلك وقد تزيد إلى كيلو مترات مربعة.

ويوضح الشكل (٣٧) حفر تذرية *Pans* بين سيوف رملية كما تظهــر حفر بيضية الشكل ما بين قرنى أحد الكثبان الهلالية جنوب غرب "بتسوانا" كما يظهر من الشكل السابق (٣٧جــ) حفر تذرية متباينة الشكل والمساحة بين الكثبان الرملية غرب السودان. راجع اللوحة (٣٥).

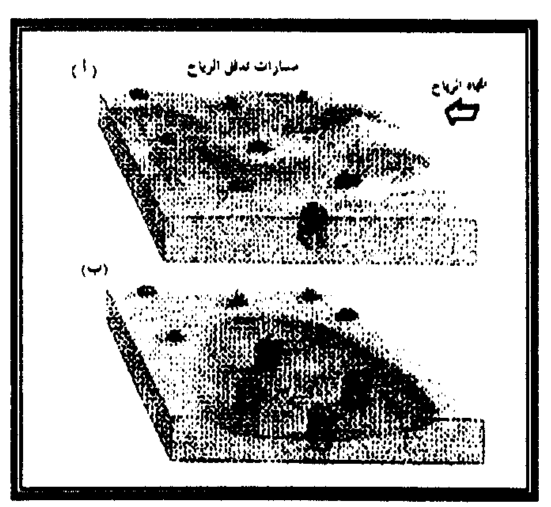


شكل (٣٧) حفر التذرية بين سيوف رملية جنوب غرب بتسوانا



لوحة (٣٥ أ) حفر التذرية يظهر بقاعها جلاميد وحصى

وكـــثيراً ما تظهر فى صحارى مصر وداخل المنخفضات الصحراوية وكثيراً ما يتوقف عمقها عند منسوب المياه الجوفية.

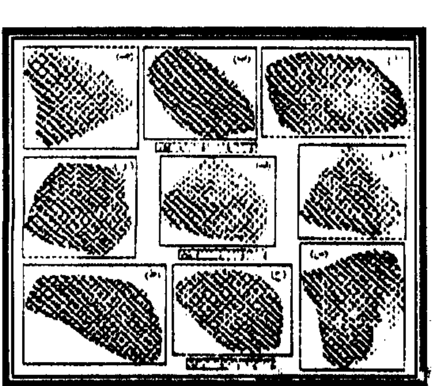


شكل (٣٨) كيفية تكون وتطور حفر التذرية

ويـــتم قياسها ميدانياً من خلال تحديد شكلها مســـاحتها وعمقها وخصائص الصخور التى تم حفرها بهـــا وغـــير ذلك من قياسات وإذا ما كانت موجودة ضـــمن مجموعـــة من الحفر فيمكن تحديد نمط توزيعها للـــتمكن من تحديد أسباب وجودها بهذا الوضع. مع ملاحظـــة وجـــود بعض الحفر المحدودة تشكلت فوق أسطح رملية بسبب دوامات هوائية أو مع نمو نباتى قد يـــؤدى إلى وزيـــادة تفكك موضع النمو وسهولة حفر الـــرياح له مـــع تدهور النبات وهذا ما نراه فى بعض الواحات المصرية مثل الواحات الداخلة ويوضح الشكل (٣٨) كيفية تكون وتطور حفر التذرية.

(٣) الحصى الهندسى : ***Ventifacts***

عـــندما تزيل الرياح الرمال الدقيقة من فوق الأسطح الصخرية فإنها تترك تكوينات حصوية خشـــنة تفترشـــها وتأخذ أشكالاً هندسية معينة بعضها هرمى الشكل *Three Facetted* يطلق عليها التعبير الألمانى درايكانتر *Driekanter* والتى تتميز بأوجهها الثلاثة وحدودها الثلاثة وبعضها ذو وجهين وتعـــرف بالزيفايكانـــتر *Zweikanter* أى ثنائـــية الوجه كما يتميز بعضها بأشكاله الغريبة وأسطحها المصقولة بفعل الرياح وانتشارها فوق مناطق صحراوية واسعة.


شكل (٣٩) أشكال الحصى الهندسى وأبعاده بالواحات البحرية

ويرى كل من *(Flint and Skinner, 1977, p.210)* بـــأن الرياح إذا هبت من اتجاه واحد طول العام فإنها تعمل على شطف الحصى الذى تقابله وذلك من جانب واحد بحيث يتشكل الحصى من وجه عريض ينحدر تجاه الرياح. وفى حالة تغير اتجاه الـــرياح يحدث شطف (تشظى) للجوانب الأخرى بحيث تتقابل الأوجـــه المشـــطوفة فى حـــد أو أكثر وذلك تبعاً لعدد الأوجه أو الجوانب التى تتعرض للرياح شكل (٣٩) وشكل (٤٠).

ورغم عدم استقرار الآراء فى كيفية النشأة الأولى لهذه الترسبات الحصوية فإن ما يعنينا هنا هو تفهم كيفية تشكيلها بمثل هذه الأشكال المميزة لها والتى أوضحناها وكيفية دراستها ميدانياً وتفهم خصائصها وقياس أبعادها المورفولوجية وآليات تشكيلها بفعل الرياح، يدعم ذلك ما يمكن أن يتم فى المعامل من تجارب يمكن من خلالها تفهم المزيد من العمليات الايروديناميكية المرتبطة بالرياح خاصة فيما يختص بالتيارات الهوائية والدوامات الريحية وكذلك التكوين المعدنى ودراسة زوايا الاصطدام بالنسبة للحصى وكثافته النوعية ودرجة خشونة أسطحها.

ماذا يتم فى الحقل بالنسبة للحصى الهندسى ؟

- جمع عينات من الحصى من مواضع مختلفة من رصيف الحصى الهندسى وعمل قياسات للطول والعرض والسمك وحساب معامل الفرطحة والذى كلما زادت قيمته دل ذلك على فعل الرياح وبعده عن الشكل الكروى ويأتى معامل الفرطحة من المعادلة التالية :

$$\text{معامل الفرطحة} = \frac{\text{ل} + \text{ع}}{\text{٢س}} > ١$$

حيث أن :

ل = الطول.

ع = العرض.

س = أكبر سمك

كذلك يتم قياس معامل استدارة الحبات على النحو التالى :

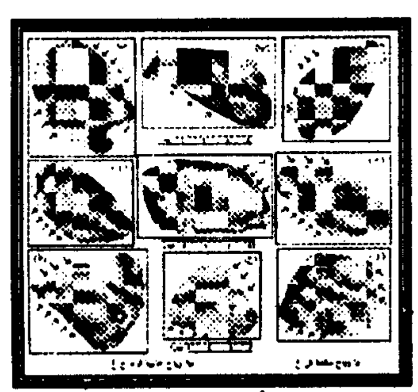
$$\text{معامل الاستدارة} = \frac{\text{٢نق}}{\text{ل}} \times ١٠٠$$

حيث أن :

ل = الطول "وبسبب كون الناتج كسر عشرى نقوم بضربه × ١٠٠٠".

كذلك يتم حصر عدد أوجه كل حبه وتحديد النوع السائد مع ربطه بنمط الرياح السائدة بالمنطقة كما يظهر ذلك من الشكل التالى (٤٠).

ويجب كذلك عمل تحليل معملى لنوع الصخر المكون منه الحصى وتحديد مصدره هل هو موضعى أم منقول وتحديد دور العمليات الأخرى فى تكوينه وتشكيله من خلال مؤشرات ذكرت فى الجزء الخاص بالتجوية.



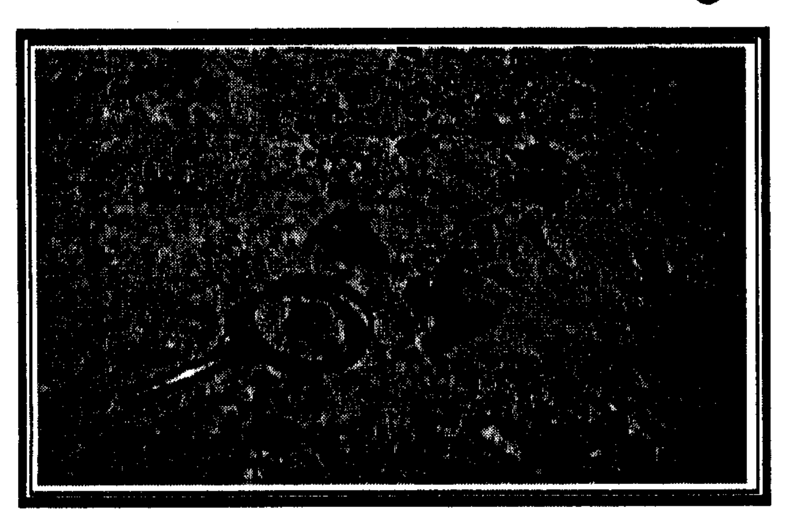
شكل (٤٠) أبعاد الحصى الهندسى وعلاقته بتغير اتجاه الرياح

➢ تطبيق معامل الشكل الذى طبقه *(Barrett, 1980, p.249)* على النحو التالى :

معامل الشكل= طول الحبة × سمكها "ارتفاعها" / مربع عرض الحبة

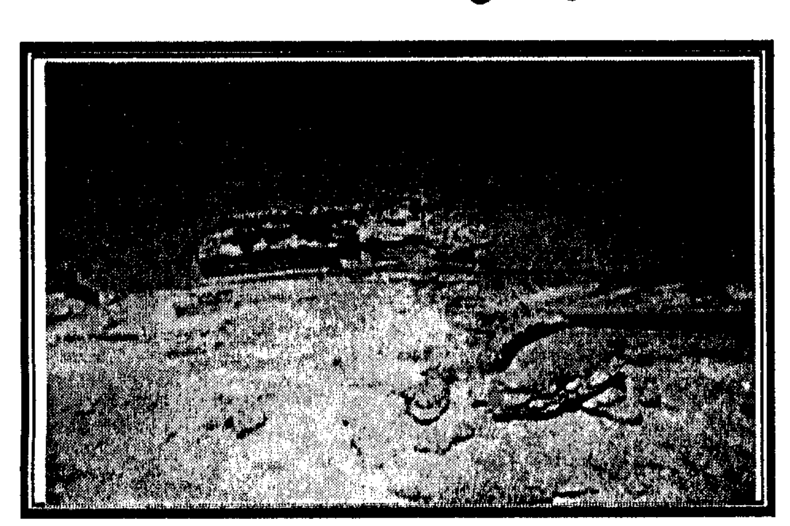
ونــاتج هذه المعادلة يتراوح من الصفر حد أدنى باتجاه حد أقصى لا نهائى وكلما صغر يدل على عدم انتظامه والعكس مع زيادة قيمة الناتج.

➢ يــتم قياس ميدانى لكثافة الحصى فــوق الســطح وذلك بتقسيمه (حسب مساحة الحقل الحصوى) إلى مربعات عادة ما تكون مساحة المربع متر مربع، ويتم حساب عدد الحصــوات فى المتر المربع وبالتالى تحديــد كثافة الحصى والتى كلما زادت دل ذلك على نقص نشاط فعل التجوية والتى مع زيادة نشاطها يزداد تفتت الحصى وتحويله إلى رمال. مع ملاحظة أنه عند حساب كــثافة الحصــى بحســب العدد بصرف النظر عن أحجامها لوحة (٣٥ ب) التى توضح بعض أشكال الحصى الهندسى بمنخفض الواحات البحرية (محمود دسوقى، المرجع السابق، ص٢٠٢).



لوحة (٣٥ ب) أشكال من الحصى الهندسى بالواحات البحرية فى مصر

وهــناك إلى جانب ما سبق أشــكال عديدة ناتجة عن نحت الرياح مــثل الأقــواس الهوائية لوحة (٣٦) وتــبدو فى شــكل فــتحات فى عرق صخرى قد اختفت منه الرياح موضع ضــعف معــين ظل يتأثر لفترة طويلة بالرياح المحملة بالرمال والتى تصطدم بــه ويبدو مظهره قريب من الأقواس الــبحرية بصرف النظر عن عمليات التشكيل، وعادة ما ينتهى أمره بانهياره وانفصال الكتل الصخرية إلى جزئين.



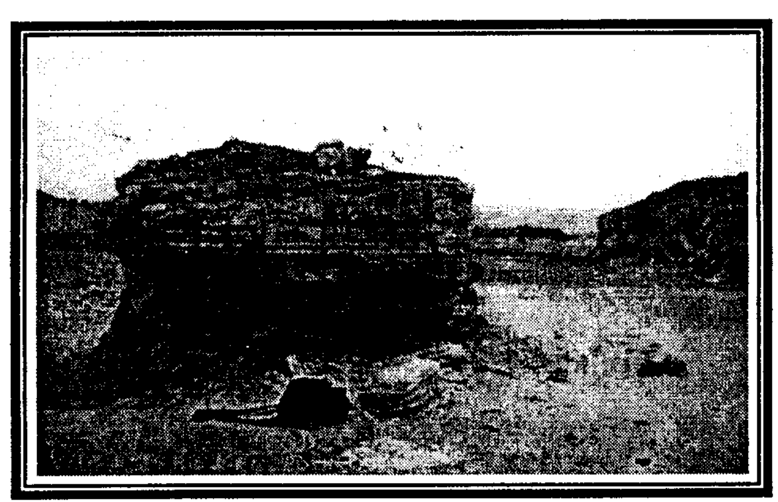
لوحة (٣٦) أحد الأقواس الهوائية الناتجة أساساً عن نحت الرياح

كذلك هناك ثقوب الرياح التى تظهر فيما يشبه حفر التافونى *Tafoni* على المنحدرات شديدة الانحـــدار خاصـــة فى الصخور الرملية، ولا يعنى ذلك أن الرياح العامل الوحيد فى تكوينها ولكن قد تكـــون هـــناك عمليات أخرى تتمثل أساساً فى التجوية بنوعيها عادة ما تكون وراء تكون مثل هذه الـــثقوب، مع الأخذ فى الاعتبار أن هذه الحفر عادة ما تتشكل فى صخور متجانسة مع تعامدها على اتجاه الرياح السائدة.

ويمكـــن تحديد خصائصها ميدانياً من خلال قياس أبعادها (طولها أو قطرها إذا كانت دائرية ومتوســـطات عرضـــها وعمقها وكذلك كثافتها على السطح ومدى ارتباطها بمواضع ضعف معينة) كذلـــك يمكـــن ملاحظة داخلها ومدى خشونة جوانبها وقاعها كمؤشرات لدور الرياح والعمليات الأخرى حيث أن لكل عملية ما يدل عليها من خصائص وملامح تعرف بزيادة خبرة الدارس.

ومـــن أشـــكال النحت الأخرى ما تعرف محلياً بالخرافيش وهى تحززات أفقية فوق أسطح صخرية، عادة ما تكون جيرية بحيث تتشكل قنوات غائرة بعمق محدود وممتدة طولياً فى موازاة بعضها وفى مـــوازاة الرياح التى شكلتها على طول خطوط ضعف يمكن تتبعها فى مناطق كثيرة من السطوح الصحراوية الجيرية الصلبة بحيث تبرز الأرض الممتدة فيما بين القنوات الغائرة فيما كان يعرف بأضلع الحيوانات (الهوجباك).

وهـــناك العديـــد من الأشكال الأخرى التى يصعب حصرها أو تصنيفها مثل الميسات وهى هضـــيبات متبقـــية وبارزة فوق سطح أقل منسوباً، ووجودها يعنى بقايا متبقية لسطح أولى كان أعلى منســـوباً وكذلك البيوتات *Buttes* (التلال الخيمية) محدودة الحجم التى تميز بقممها المدببة وجوانبها المـــنحدرة وغـــير ذلـــك من أشكال يمكن ملاحظتها من اللوحة التالية (٣٧) التى توضح تلاً خيمياً بالواحات البحرية يلاحظ منها أثر نحت الرياح على جوانب التساقط الصخرى وتحززات الرياح.



لوحة (٣٧) أحد التلال الخيمية بالواحات البحرية التى تظهر به آثار النحت الريحى فى التحززات والتساقط الصخرى وتراكم المفتتات أعلاها

كذلك قد تظهر كتل صــخرية وسط ترسبات رملية تحــاط بحلقة مفرغة من الرمال لوحة (٣٨) وهذه الظاهرة التى تــراها مــثيراً فــوق أسطح الفرشــات الرملــية تدل على اصــطدام الرياح بتلك الكتلة الرملــية وتكــون دوامــات موضــعية تــؤدى إلى تذرية ما يطوقهــا مــن الرمال وتفريغها بالشكل الذى تظهره الصورة السابقة، ويلاحظ من اللوحة (٣٨) أحد الــتلال المخروطــية مــع وجود إحدى الياردنجات المتأثرة بشدة عمليات النحت بفعل الرياح، ويظهر باللوحة (٣٩) أشكال ناتجة عن نحت الرياح غرب منخفض سيوة بمنطقة المراقى.



لوحة (٣٨) كتلة صخرية محاطة بحلقة مفرغة من الرمال بالواحات الداخلة



لوحة (٣٩) أشكال ناتجة عن نحت الرياح غرب منخفض سيوة (منطقة المراقى)

ثانياً : الأشكال الناتجة عن الإرساب بفعل الرياح من الميدان :

مدخل لدراسة الموضوع :

قبل أن تقوم الرياح بإرساب حمولتها من الرمال بسبب ضعف أو تلاشى طاقتها فإنها أساساً تكون فى مرحلة سابقة لها مهمة أساسية وهى نقل حمولتها بطرق مختلفة، فسرعتها العادية تمكنها من نقل المواد الدقيقة فى حالة تعلق *Suspension*، وقد أظهرت التجارب والدراسات المتعددة بأن الذرات الأقل حجماً من ٠,١ مللم تتحرك بالتعلق وتلك التى تتراوح فى أحجامها ما بين ٠,١ — $\frac{١}{٢}$ مللم تتحرك بالقفز *Saltation*، أما الأكبر مــن نصــف ملليمتر فتتحرك بالزحف *(Cooke, R., U., and Doornkamp, J., C., 1990, p.55)*، ويرى *Bagnold* فى ذلك بأن السرعة المطلوبة لتحريك المواد الدقيقة ٠,٠٢٥ مللم، تبلغ ٢٠سم/ثانية.

وقد أكدت الدراسات الحقلية بان معدل حجم الحبيبات يتزايد مع الارتفاع فى الجزء الأسفل مـن السـحابة الرملية وذلك فى حالة هبوب رياح قوية ويرجع ذلك وفقاً لما ذكره باجنولد إلى أن أثر قـوة الاصـطدام للحبـات كبيرة الحجم من الرمال بسطح الأرض يرفعها إلى مناسيب أعلى مقارنة بالحبيبات الأصغر *(Warren, A., 1979, p.332)* خاصة فوق سطح صخرى متماسك.

كذلـك أوضـحت التجارب المعملية أن معدل نقل الرمال يتناسب تناسباً طردياً مع معدل سرعة الرياح بالإضافة إلى تأثره بعوامل أخرى مثل حجم الحبيبات وكثافتها النوعية وكثافة الهواء.

وتوضـح المعادلة التالية التى وضعها *Hsu, 1973* بشكل بسيط العلاقة بين الكميات المنقولة من الرمال والعوامل التى تؤثر فيها.

$$\text{ك} = (٤٧ - ٤,٩٧) \left(\frac{٠,٤ \, (٢٧٥ - \text{س})^{٣}}{\text{أ} \, (\text{جـ ق})^{\frac{١}{٢}}} \right)$$

حيث أن:

ك = وزن كمية الرمال المتحركة سنوياً بالطن لكل متر مربع.

أ = ارتفاع المنطقة التى تم فيها قياس سرعة الرياح بالمتر/ثانية.

ق = متوسط قطر الحبة بالملليمترات.

س = تكرار سرعة الرياح من اتجاه معين خلال السنة.

جـ = ثابت الجاذبية وهو يساوى ٣٣ قدماً فى الثانية.

وعموماً فإن كمية الرمال المتحركة تكون ذات علاقة طردية مع سرعة الرياح مع ملاحظة أن الـرياح المعـتدلة التى تسود فترة طويلة من السنة يمكنها أن تساهم فى نقل كميات كبيرة من الرمال *(Warren, A., 1979, p.332)*.

وقـد وضع شيبل *Chepil* قانوناً لتحديد سرعة الرياح المطلوبة لبدء تحريك الحبيبات الأكبر من ٠.١ مللم وذلك على النحو التالى :

$$\text{سرعة التحرك المطلوبة} = {}^{١}\sqrt{\frac{(\text{الكثافة النوعية للهواء} - \text{الكثافة النوعية للحبة}) \ \text{جـ ق}}{\text{الكثافة النوعية للحبة}}}$$

حيث أن:

جـ = ثابت الجاذبية.

ق = قطر الحبة بالسنتمتر

مع العلم بأن كثافة الهواء فى الظروف العادية = (١٢٢ - ١٠ - ٣ جرام/سم).

مع الأخذ فى الاعتبار أن الحبيبات الأقل حجماً من ٠,١ مللم لا تلتزم فى حركتها بنتائج هذا القانون *(Cooke, R., U., and Doornkamp, J., C., 1990, p.55)*، للاستزادة راجع محمد صبرى محسوب (٢٠٠١، ص ص ٢٩٠-٢٩١).

أما بالنسبة للترسيب فإنه لا يتم فوق الأسطح الصخرية بالمناطق الجافة بشكل عشوائى وإنما يتم فى أنماط محددة ترتبط بنظم الرياح السائدة أكثر من ارتباطها بالطبوغرافيا وفى ذلك يرى ***Wilson*** أنه من الممكن توقع كيفية حدوث عمليات ترسيب وتحديد مواقع حدوثها وذلك من خلال وضع نظام خاص بحركة الرياح وعمل عدد كبير من محصلات انسياق الرمال فى منطقة ما *(Derbyshire, et al, p.175)*.

وجدير بالذكر أن ***Wilson*** قد حرج بنتائج من دراسته للكثبان الرملية بالصحراء الكبرى أهمها أن محصلات انسياق الرمال وتحركها يمكن استنتاجها من معرفة سرعة الرياح وتحديد فترات حدوث العواصف (ترددها) واتجاه الرياح، كذلك وجد أن الدراسة التحليلية للأشكال الناتجة عن الإرساب بفعل الرياح بأحجامها المختلفة تساعد فى تفهم ومعرفة الاتجاهات الرئيسية للرمال المتحركة.

وجدير بالذكر أنه لابد لنا من دراسة عدة عناصر لكى نتفهم الأشكال الناتجة عن الإرساب الهوائى خاصة الكثبان ومنها السطح الذى تنتشر فوقه مثل هذه الكثبان وكذلك دراسة المناطق الواقعة بينها والتى عادة ما تغطى برواسب رملية تختفى فى أغلب الأحوال تحت التكوينات الحصوية الخشنة.

وتعد دراسة العلاقة بين اتجاهات الرياح وقوتها من جهة وكميات الرواسب من جهة أخرى ذات أهمية كبيرة فى تفسير خصائص الكثبان الرملية وذلك من حيث الشكل وكيفية التكون، وهكذا فإنه من الضرورى تفهم نظم الرياح السائدة ومصادر الرمال المحلية، ومن المهم أيضاً توضيح مدى الاختلاف بين أثر كل من الرياح القوية والرياح الضعيفة، وهنا يمكن الإشارة إلى أن ***Bagnold*** قد حدد السرعة القوية للرياح بأنها تلك التى تزيد على ٢٥ مللم/ثانية وذلك عند ارتفاع ٠,٣سم عن السطح ونوع الصخر والغطاء النباتى بحيث أنه فى حالة زيادة خشونة السطح فإن الرياح تهدأ قبل بناء الكثيب، وعلى ذلك فإن بناء الكثبان وتكونها فى المناطق التى تتميز بخشونة السطح يكون أقل احتمالاً مقارنة بإمكانية تكونها فوق الأسطح الأقل خشونة والتى تتميز بالاستواء. وعادة ما تتجه الرياح القوية إلى العمل على زيادة حجم الكثيب بينما تؤدى الرياح الضعيفة إلى زيادة طول الكثيب على امتداد كتلته *(King, C., A., H., p.134)*.

وجدير بالذكر أنه من الأهمية عند دراسة الأشكال الرملية الإلمام تفصيلياً بنسب السكون وفترات قوة الرياح وعمل مقارنة بينهما.

وعندما تترسب الرمال أثناء عملية نقلها فإنها تأخذ أشكالاً متنوعة ما بين نيم الرمال ***Ripples*** والكثبان العرضية ***Transverse Dune*** فى حين عندما تتوقف سرعتها فإنها تشكل أنواعاً عديدة من الكثبان، تتراوح فى أحجامها وفى أشكالها ومعدلات تحركها.

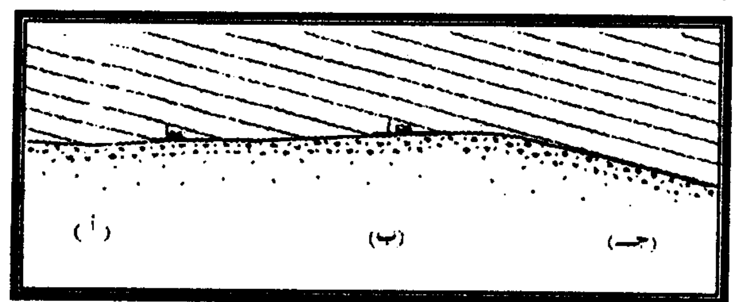
وفيما يلى بعض أساليب القياس والتجارب الميدانية للأشكال الرملية :

(أ) التموجات والحافات الرملية صغيرة الحجم : *Ripples and Minor Ridges*

التموجات الرملية من الأشكال التى تنتج عن عمليات ترسيب الرياح، كما تعتمد النسبة بين الارتفـاع وطول الموجة على اتساع سطح التموجات *Fetch*، وعادة ما نجد أن هذه النسبة منخفضة جداً فى حالة الرمال المتجانسة فى حجم حبيباتها وعكس ذلك مع تباين الأحجام.

وتتمـثل أهم العوامل المؤثرة فى ارتفاع وطول النيم والتى يمكن معرفتها من بيانات المحطات المناخية سرعة الرياح وترددها واتجاهها ومن الميدان طبيعة سطح المنطقة وخصائص حركة الرمال السطحية.

ويوضـح الشـكل التالى (٤١) العلاقـات المرتبطة بتكون النيم تبعاً لما استنتجه باجنولد *Bagnold* من تجاربه وقياساته المعملية والحقلية.



شكل (٤١) العلاقات المرتبطة بتكون النيم تبعاً لاستنتاجات باجنولد *"Bagnold"*

١) عندما تبدأ حركة ما فوق سطح رملى فإن الفرصة تكون مواتية لظهور عدم انتظام به.

٢) هكـذا فإن كميات أكبر من الرمال سيتم إزالتها على القطاع (أ و ب) مقارنة بتلك الموجودة على القطاع (ب جـ). والمحمية بارتفاع السطح عند (ب).

٣) يؤدى قذف الحبيبات إلى إطلاق كميات أكبر من الحبيبات فى القطاع (أ ب) عنه فى القطاع (ب جـ) حيث تستقر بالأول (تترسب) على مسافة تساوى نصف طول مجال تحركها أثناء القفز.

٤) سوف يحدث تراكم فى القطاع (ب جـ)، ونحت فى القطاع (أ ب) مع حدوث حركة أمامية للسفح.

٥) حيـثما تحـدث هـذه الحركة فى تموج واحد فإنها سوف تحدث على طول الخط وسوف تتحرك التموجات إلى الأمام محتفظة بالمسافات البينية (بين كل تموج وآخر).

٦) يتميز التموج بوجود ارتفاع متوازن وذلك لأن أى زيادات تتم على القمة فوق منسوب التوازن ستصـبح فى مجـال الـتدفق السريع الذى تزال عنده الرمال بسرعة، ويرى *Bagnold* أن هذا النموذج البسيط لتكون النيم يرتبط عادة بالرمال المتجانسة المتماثلة فى أحجامها، وعادة ما تكون التموجات التى تنشأ بهذه الطريقة منخفضة جداً.

٧) عـادة مـا يحـدث فى الحقـل (الميدان) أن ترتكز الحبيبات الخشنة فوق القمم ولا تتحرك منها، وعادة ما يتوقف ارتفاع التموج إلى حد كبير على قدرة الحبيبات الأخشن على البقاء فى مواضعها على القمة والصمود أمام هبوب رياح شديدة.

وقد أوجد *Bagnold* من خلال تجاربه علاقة بين سرعة الرياح وطول موجة النيم على النحو الموضح بالجدول التالى (١١)

جدول (١١) العلاقة بين سرعة الرياح سم/ثانية وطول موجة النيم

سرعة الرياح سم/ثانية	١٩	٢٥	٤٠,٤	٥٠,٥	٦٢,٥	٨٨
طول الموجة بالسنتيمتر	٢,٤	٣	٥,٣	٩,١٥	١١,٣	—

يتضح منه ما يلى :

١) يزداد طول موجة النيم مع تدرج الرياح فى سرعتها.

٢) يستوى سطح النيم ويختفى عندما تتجاوز الرياح فى سرعتها حداً معيناً.

٣) يتراوح معامل التموج *Ripple Index* (النسبة بين طول النيم وارتفاعه) ما بين ١٥ و ٢٠، يزداد إلى ما بين ٥٠ و ٦٠ مع هبوب رياح شديدة وحدوث تسطح للمسطح النيمى.

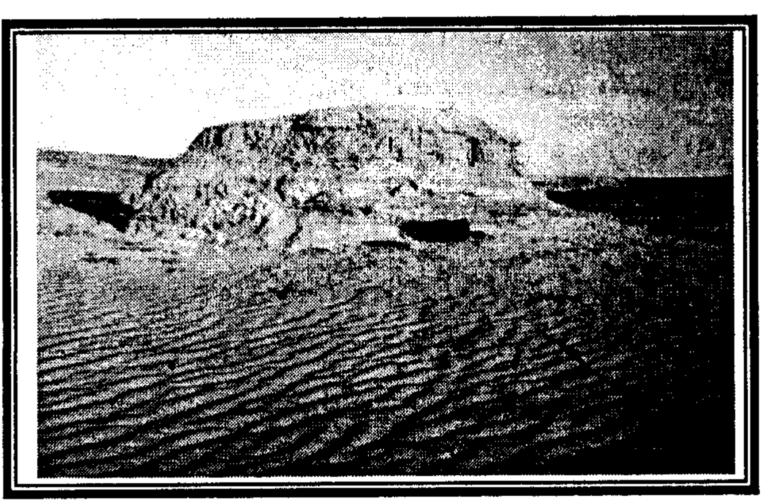
وقد أظهر *Sharp* أن معامل التموج يتجه اتجاهاً عكسياً مع حجم الحبة ويرتبط ارتباطاً مباشراً مع سرعة الرياح.

٤) ينقسم بروفيل التموج إلى أربعة عناصر تتمثل فيما يلى :

(السفح المواجه للرياح وسفح الظل والحوض والقمة)، وعادة ما تصل زاوية انحدار السفح المواجه للرياح إلى ما بين ٨ و ١٠ درجات وفى سفح الظل إلى ما بين ٢٠ و ٣٠ درجات *(Sharp, 1963, p.19)*.

ماذا ندرس ونقيس فيما يختص بالتموجات الرملية فى الميدان ؟

١) نحدد من خلال الملاحظات الميدانية أنواع التموجات وأحجامها فهناك تموجات منتظمة وصغيرة الحجم، وبجانب تعرجها فإنها تتداخل مع بعضها، وعادة ما تكون سريعة فى تشكيلها مع تعرض سطح رملى جاف لهبوب رياح هادئة وقد تظهر على أسطح مستوية أو فوق ظهر كثيب رملى، وهناك نيم (تموجات) مضفرة *Braided Ripples*، وعادة ما ينتج هذا التضفر من نعرض مسطح النيم لرياح أخرى جانبية قوية بحيث تتداخل التموجات مع بعضها وتتضفر كما يتضح ذلك من اللوحة (٤٠).



لوحة (٤٠) تموجات رملية متداخلة شمالى إحدى التلال بالواحات

وهـــناك شـــكل آخر من التموجات يمكن تسميته بالتموجات القوسية وعادة ما يظهر فوق ظهـــور الكثـــبان الهلالية وعادة ما ينشأ هذا النوع نتيجة لاختلاف حركة الحبيبات الرملية فوق سطح الكثيب، فمنها ما يتحرك ببطء ومنها ما يكون سريعة الحركة وتشغل الجانب المحدب من القوس.

٢) وهـــناك ما يعرف بالعروق (الحافات) الرملية الدقيقة وهى عبارة عن تموجات رملية كبيرة الحجم وعادة ما تمتد متعامدة مع اتجاه الرياح السائدة، وقد ترتفع إلى أكثر من عشر سنتيمترات مع طول تمـــوج يزيد على الارتفاع كثيراً، وكثيراً ما تشغل قممها تكوينات من رمال خشنة أو حصباء تمثل أسطح اصطدام لحبات الرمال المسفاة لوحة (٤٠).

٣) يمكـــن الحصول على القياسات المعروفة لارتفاع التموج بالسنتيمترات وطوله (المسافة بين قمتين متتاليـــتين) مـــن خـــلال قياسات عديدة وأخذ متوسطات وكذلك قياس درجة انحدار الجوانب المواجهة للرياح والواقعة فى ظلها.

٤) تجمع عينات من الرواسب من مواضع مختلفة، من القمم والجوانب وحوض النيم وتحليلها حجمياً ومعدنـــياً حـــتى يمكن الإفادة من نتائج التحليل فى دراسة خصائصها (أى الخصائص المورفولوجية والمورفومترية للتموجات الرملية) مسترشد بما ذكر فى بداية دراسة النيم ونتائج التجارب التى قام كـــل مـــن باجنولد ***Bagnold*** وشارب ***Sharp*** لتفسير نشأة النيم والعلاقات بين الأبعاد وسرعة الرياح وغيرها من عوامل ومتغيرات.

(ب) الخصائص المورفولوجية والمورفومترية للكثبان الهلالية من الميدان :

١) تتمثل أهم العوامل المؤثرة فى تكوين الكثيب الهلالى أو البرخان فيما يلى :

- رياح قوية تزيد على ٢٠ كيلومتر فى الساعة، تهب من اتجاه ثابت.
- رصيف صحراوى صلب متماسك ينحدر انحداراً هيناً.
- توافر مصدر الرمال.
- يبدأ تكون الكثيب بكومة رملية تزادا ارتفاعاً حتى يستقر الوضع المظاهر للرياح.
- عـــندما يصـــل البرخان إلى مرحلة النضج يظهر جانبه المواجه للرياح هين الانحدار فى شكل محـــدب ***Convex Shape***، بينما يشتد الانحدار فى الجانب المظاهر للرياح المحصور بين القرنين المـــتجهان نحـــو مصرف الرياح ويلتقيان فى نمط مقوس عند منتصف حضيضه، وعندما تصل درجـــة انحدار الجانب المظاهر للرياح ما بين ٣٠ و ٣٤°، تنهال رماله، ومن ثم يسمى بسفح الانهيال ***Slip Face***.

٣) بعض القياسات من الخرائط والصور الجوية والميدان بالنسبة للكثبان الرملية الهلالية :

الارتفاع :

يـــتم ميدانياً عن طريق قياس طول ظهر الكثيب بواسطة شريط التيل مع قياس درجة انحداره ســـواءً بجهـــاز الابـــنى لـــيفل أو الكلينوميتر، ومع الحصول على طول ظهر الكثيب ودرجة انحداره أو متوسط درجة انحداره [*].

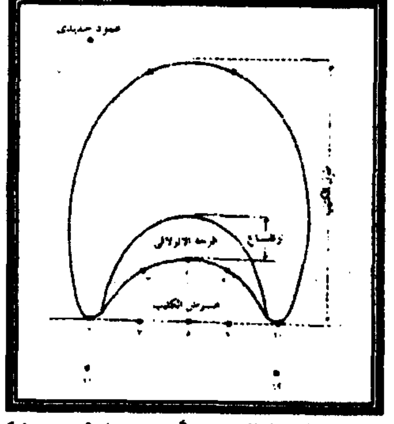
يمكن الحصول على الارتفاع من خلال تطبيق المعادلة التالية :

الارتفاع = الطول (الذى تم الحصول عليه بالقياس المباشر) **× جيب زاوية الانحدار *Sine*** (يمكن الحصول عليها من الآلة الحاسبة)

كذلـــك يمكن الحصول على الارتفاع من الخرائط التفصيلية بمعرفة منسوب القمة ومنسوب الأرض المتاخمة لأقدام الكثيب.

العرض :

فى حالـــة تماثل القرنين فى الطول يتم حساب العرض بقياس المســـافة بـــين طرفيها بشريط القياس فى الحقل أو من الصور الجوية والخـــرائط الطوبوغرافية التفصيلية بالطرق المعروفة ويمكن استخدام طرق أخرى فى حالة عدم تساوى طول القرنين شكل (٤٢).



شكل (٤٣) قياس أبعاد كثيب هلالى متساوى القرنين

الطول :

يـــتم القياس من خلال قياس محوره الطولى من أقدام ظهر الكثيب حتى نهاية أحد القرنين فى حالة تساويهما وذلك من خلال وضع عدد من الأوتاد أو الشواخص على طول امتداد أحد جانبى الكثيب.

طول سفح الجانب المواجه للرياح السائدة (ظهر الكثيب) :

يتم من خلال قياسه بشريط التيل من أقدامه حتى قمة جانب الانهيال.

قياس زوايا الانحدار :

يمكـــن القياس فى الميدان بواسطة ابنى ليفل ***Abny Level*** أو بجهاز كلينوميتر مثبت على لوح خشـــبى، ويمكـــن حساب وتحليل زوايا الانحدار من خلال توزيعها على سطح الكثيب وعلاقة الصور التوزيعـــية لها بحجم الكثيب، كما يمكن دراسة وتحليل أشكال سطح الكثبان من خلال رسم قطاعات عرضية لها. (نبيل إمبابى ومحمود عاشور، ١٩٨٢).

---

[*] وذلك عندما تتعدد قياسات زوايا أو درجات الانحدار.

حساب كثافة الكثبان فى الحقل :

يمكـن حسـاب كثافة الكثبان الرملية فى منطقة ما وذلك بهدف تفهم خصائصها التوزيعية والعوامـل المؤثـرة وامـتدادها ويمكن أن يتم ذلك فى الطبيعة بالنسبة لمساحات محدودة وذلك خلال تقسيمها إلى مربعات متساوية المساحة وحساب عدد الكثبان داخل كل مربع بغض النظر عن أحجامها، وإن كـان عادة ما يتم القياس للكثافة الحسابية للكثبان بأنواعها المختلفة من خلال صورة جوية كبيرة المقياس أو من خلال مرئيات فضائية أو من الخرائط الطوبوغرافية التفصيلية وتقسيمها بطريقة معينة إلى مربعات محددة المسافة وفقاً لمقياس رسم الخريطة أو الصورة الجوية التى تم منها القياس.

قياس حركة الكثيب الهلالى من الميدان :

لقياس معدلات حركة الكثيب فى الميدان يتم تثبيت أوتاد حديدية فى المواضع المحددة بالشكل عـند حضيض سفح الانهيال وعلى طول الخط الواصل بين طرفى قرنى الكثيب وأمامها (طرفى القرنين)، كمـا يجب تحديد موضع الكثيب فى الميدان ونقله على خريطة بمقياس رسم تفصيلى على روق بيانى مع تحديـد المحور الأساسى لامتداد الكثيب (العوضى، ١٩٨٩، ص٢١)، وبعد فترة زمنية محددة عادة ما تكـون سـنة يمكـن العودة لتسجيل التغيرات المكانية التى حدثت من خلال تسجيل الوضع الجديد للكثيـب ومقارنـته بالوضع السابق، ومن ثم يمكن حساب معدل حركة الكثيب، مع إمكانية تطبيق ما ذكر على حركة الكثبان الطولية.

وهناك طريقة أخرى يمكن تطبيقها لقياس حركة واتجاه الكثبان وذلك بمقارنة صورتين جويتين للكثبان فى فترتين مختلفتين وبمقارنتهما يمكن معرفة معدل الإزاحة الأفقية للكثبان المطلوب دراستها.

جـدر بالذكـر أن هـناك نمذجة رياضية تستخدم فى تحديد معدلات حركة الكثبان وتحديد العلاقـات بـين حركتها وأبعادها الهندسية مثل الطول والارتفاع والعرض، ومن المعروف أن القرون تتقدم بمعدل أسرع من جسم الكثيب. وتتراوح معدلات حركة الكثيب السنوية من ستة أمتار للكثيب الكبير وأكثر من ١٥ متراً للكثيب الصغير، كما أن وجود تكوينات حصوية على ظهر الكثيب يؤدى إلى حدوث اضطراب فى تيار الهواء فوقه مما يؤدى إلى تقلصه وتلاشيه خاصة مع هبوب رياح قوية.

وعـادة مـا يتقدم الكثيب الهلالى مع إضافة كميات من الرمال إلى قمته أو يتقدم من خلال إزالـة الـرمال مـن أقـدام الجانـب المقعر إلى أن تصل زاوية انحداره إلى ٣٤°، ويعد سفح الانهيال (سفح الجانب المقعر) أكثر أجزاء الكثيب تأثيراً فى حركته.

وعـادة مـا نجد أن عملية تحريك الكثبان بسبب تعرض الجانب من الكثيب المواجه للرياح للنحـت بمعـدل أكبر من الجانب المظاهر لها حيث تنتقل حبات الرمال المنحوتة وتترسب خلف قمة الكثيب مباشرة عند هبوط التيار الهوائى الذى يحملها.

ومـــن الدراسات الميدانية التى تمت عن حركة الكثبان الهلالية ما قام به كل من ***Long and Sharp*** فى وادى امـــبريال بولاية كاليفورنيا الأمريكية حيث تابعا التغيرات التى طرأت على الكثبان فى تلك المنطقة خـــلال الفترة من ١٩٤١ – ١٩٦٣ (لمدة عشرين سنة)، وأغلبها من النوع الصغير الحجم، أصغرها عرضه مـــا بين القرنين تسعة أمتار بارتفاع يتراوح ما بين ٨ و ١٢ متراً، وأكدا على أهمية معرفة ما إذا كان الكثيب فى حالـــة نمـــو أم فى حالة ثبات، كما أشار إلى أن الكثيب الهلالى الذى له قمة وحافة ***Brink*** (جبهة) يسلك سلوكاً مغيراً للكثيب الهلالى الذى تنطبق قمته على حافته ***(Derbyshire, E., et al, pp: 181-182)***.

كمـــا قـــام ***Hastenrath, 1967*** بدراسة لأثر الحركات الايروديناميكية على الكثان الهلالية جـــنوبى "بـــيرو" وقام بقياسات عديدة لطول أوجه الانهيال وعرض الكثيب وارتفاعاته مع قياس زوايا الانحـــدار لظهورها وقياسات خاصة بمعدلات التحرك السنوى بالأمتار، كذلك ربط بين شكل الكثيب وحجمه ودرس أيضاً الكثافة النوعية الكلية للكثيب (جرام/سم٣)، وأظهرت دراسته للأخيرة انخفاض الكثافة بالاتجاه نحو منصرف الرياح (للاستزادة راجع محمد صبرى محسوب، ٢٠٠١، ص٣١٠).

(جـ) الخصائص المورفومترية للكثبان الطولية "الغرود" من الحقل :

تعـــد الكثـــبان الطولـــية من الأشكال الكثيبية واسعة الانتشار فى الصحارى المدارية الحارة. وعـــادة مـــا تميز بأطوالها الزائدة مقارنة بعرضها إلى جانب استقامتها بشكل عام وتباعدها عن بعضها بمســـافات شبه منتظمة. كما أنها عادة ما تظهر فوق الأسطح المستوية نسبياً والتى تغطى برمال سائبة، ويـــرى ***Bagnold*** أن هذه الغرود الطولية تكون ناتجة عن حدوث تيارات هوائية لولبية ***Helicoidal*** تقترن بالرياح القوية التى تهب بشكل دائم من اتجاه محدد مع امتداد محاورها بشكل عام فى موازاة هذه الـــرياح. وقد أكد باجنولد كذلك أن الرياح الجانبية تحول الشكل البرخانى إلى كثيب طولى وذلك تم خلال العمل على إطالة أحد القرنين، وبذلك يصبح الشكل النهائى للكثيب محصلة لرياح ثنائية الاتجاه ***Bi-directional Wind***.

ويقترب ***Holmes*** فى تفسيره لكيفية تكون الكثبان الطولية من تفسير ***Bagnold***، حيث يرى بأنـــه حيـــث تهـــب رياح دائمة من اتجاه ثابت وتأتى رياح جانبية قوية متعامدة عليها، فينتج عن ذلك تكون سلسلة من الكثبان الطولية فى شكل حافات مسننة تمتد فى اتجاه الرياح السائد.

وبالنسبة للتباعد المتماثل لحافات الغرود الطولية فإنه حتى الآن لا يوجد تفسير كاف له، وإن كانـــت هـــناك بعض الآراء التى تحاول تفسيره مثل رأى ***Clos*** القائل بأن التباعد المتماثل بين الغرود الطولـــية يـــرجع إلى ثبات التيارات الهوائية المعروفة باسم تيارات شيسى (سيكى) الاهتزازية، ويؤيده ***Folk*** فى ذلك من حيث المبدأ، وإن كان يرى أنه بعد أن تتكون الغرود، يتولد تيار هوائى صاعد فوقه وبالتالى تزداد سرعته تلقائياً ويزداد بالتالى حجم الغرد ***(Derbyshire, et al, p.178)***.

وتتــــباين الكثــــبان الطولية فى أطوالها وارتفاعاتها ومتوسطات عرضها وأشكالها حيث توجد كثــبان طولية بسيطة تتكون من كثيب واحد لـــه قمة طولية مستقيمة أو متعرجة ***Sinuous*** وكثبان طولـــية مركبة ***Compound Longitudinal Dunes*** تتكون من التحام كثيبين أو أكثر ومنها ما هو مثبــت بالنباتات وتتميز بقممها الأقل حدة وتسنناً عكس الحال مع الكثبان الطولية الخالية من النمو النباتى ذات القمة الحادة.

دراسة وقياسات الكثبان الطولية ميدانياً :

- تحدد مناطق توزيعها من خلال تحليل المرئيات الفضائية أو الصور الجوية.
- يتم اختيار الكثبان الطولية التى يمكن إخضاعها للقياسات الميدانية على أسس منهجية وليس بشكل عشوائى بحيث تكون ممثله لكبر عدد ممكن من الكثبان بمنطقة الدراسة ويسهل الوصول إليها.
- تحديـــد مـــنطقة تجمع الكثبان ويتم معرفة مناسيب السطح الذى تنتشر فوقه وتحدد محاور امتداد الكثــــبان، ويمكـــن حساب الكثافة الحسابية للتعرف على كثافة الكثبان عن طريق تقسيمها من الصور الجوية مقياس ١ : ٢٥٠٠٠ إلى مربعات، مساحة على مربع كيلومتر مربع واحد ثم يتم تحديد عدد الكثبان داخل كل مربع وقسمة العدد على المساحة.

ويوضـــح الشـــكل (٤٣) كثافة الكثبان فى إحدى المناطق بمنخفض سيوة وهى نمط الكثبان العرضية وتـــبلغ مساحة هذه المنطقة ١٦٩كم٢ وبها ٩٩٩كثيباً وبلغـــت كثافـــتها ٥,٩ كثيـــباً لكل كيلو متر مربع وتراوحـــت كـــثافة الصفوف ١-١٣,٥ كثيب/كم٢ (إحسان سعيد، المرجع السابق، ص١٦٠).

- يـــتم القـــياس فى الميدان لطول الكثيب (يمكن القـــياس مـــن الخرائط الطوبوغرافية أو الصور الجوية فى حالة زيادة أطوالها) والعرض والمساحة التى تغطيها والطول الموجى. مع بعض القياسات الأخـــرى مثل معامل الاستطالة وغيرها، ويمكن للقياسات السابقة أن تتم فى الميدان أو من الصور الجوية أو المرئيات الفضائية.

المساحة كم٢

الكثافة	عدد الكثبان
٣	١٥
٩,٥	٧٦
١٣,٥	١٣٥
١٢,٣	١١١
١١,٥	١١٥
٧,٣	٦٦
٦,٤	٥١
٣	٣٠
٤,٥	٣٦
٤,٥	٢٧
٣,٧	٣٢
٦	٤٨
٥	٥٠
٨,٣	٥٨
٣,٩	٣٥
٢,٥	٢٣
٣,٨	٢٣
٣,٨	٢٢
٣,١	١٩
١,٢	٧
٢	١٠
١	٤

شكل (٤٣) قياس كثافة الكثبان الطولية فى إحدى المناطق بمنخفض سيوة

وبعد ذلك تم عمل مصفوفة معاملات الارتباط بين أبعاد الكثبان لتحديد مدى تأثير أى منها فى الأبعاد والأخرى على النحو الذى يوضحه الجدول التالى (١٢).

جدول (١٢) مصفوفة معاملات الارتباط بين الكثبان الطولية بمنطقة سيوة

م	الطـــول	العـــرض	المســـاحة	الطول الموجى
الطـــول	١	٠,٧٨	٠,٨٨	٠,٦٩
العـــرض	—	١	٠,٤٢	٠,٣٦
المســـاحة	—	—	١	٠,٦٤
الطول الموجى	—	—	—	١

عن إحسان سعيد، ٢٠٠٤

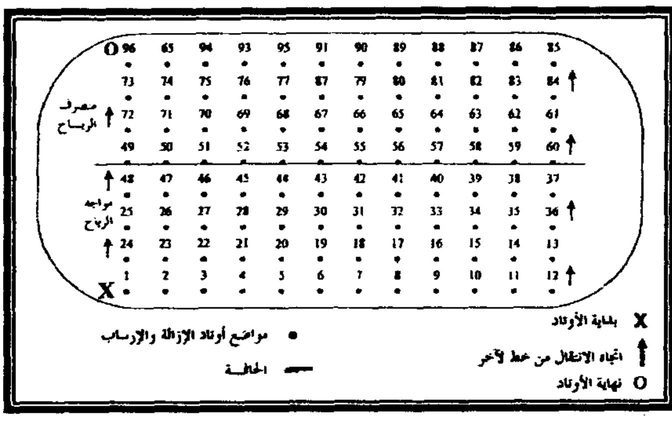
والـــذى يتضح منه أن أقوى ارتباط يوجد بين طول الكثيب ومساحته (٠,٨٨) ثم بين طول الكثيب وعرضه (٠.٧٨).

- يتم تحديد اتجاهات محاور الكثبان الطولية والتى يلعب اتجاه الرياح السائدة دورة فى توجيه محاورها، ويـــتم هـــنا تحديد نسب الاتجاهات ومقارنتها مع بعضها وتحديد مدى ارتباطها بمحصلات الرياح بالمنطقة وتوقيعها بيانياً وتحديد الاتجاه السائد لمحاور الكثبان الطولية وربطه بمحصلة الرياح السائدة.

بالنسبة للقياس الميدانى لحركة الكثبان الطولية :

توجـــد عدة طرق لقياس حركة الكثبان الطولية سواء كانت حركة إزالة أو إضافة أو تحرك لكتلة الغرد من خلال أو الكثيب نفسه، مقياس حركة الإزالة أو التراكم الرمل يمكن تتبعها من خلال تثبيـــت شواخص مدرجة بالسنتمترات فى مواضع مختلفة من جسم أو كتلة الكثيب على جانبيه أو فى مقدمـــته (فى اتجاه تحركه) بحيث يبرز من الشاخص جزءاً مدرجاً ويسجل فى فترة الميدان رقم الشاخص وطـــول الجزء البارز منه وبعد فترة محددة يمكن الرجوع إلى موضع الكثيب ومتابعة ما حدث من إزالة وتراكم من خلال قياس الأجزاء البارزة من الشواخص.

وفى دراســـة تطبيقية لعمليات الإزالة والإرساب قامت إحسان سعيد، ٢٠٠٥ بوضع شبكة مـــن الأوتاد البلاستيكية لقياس مقدار الإزالة والإرساب فوق سطح كثيب طولى بسيط بمنطقة "واحد" بالحافـــة الجنوبـــية لمنخفض سيوة وكان طول الكثيب ٥٥متراً ومتوسط عرضه ٣٢ متراً بارتفاع ثمانية أمتار بمحور شمالى غربى، وتم تقسيم الكثيب إلى الجانب المواجه للرياح ، وجانب منصرف الرياح حيث تم غـــرس ٣٧وتـــداً فى الجانب الجنوبى (منصرف الرياح) و ٥٩ بالجانب المقابل كما يتضح ذلك من شكل (٤٤)، وكان طول كل وتد متر ونصف، البارز منها متر واحد "راجع كذلك اللوحة (٤١)" التى توضح وضع الأوتاد على الكثيب المدروس.



شكل (٤٤) قياس إزالة وتراكم الرمال على أحد الكثبان الطولية بواحة سيوة

وقد تمت التجربة القياسية فى ٢٠٠٣/٢/١٥ وبعد سنة من غرس الأوتاد وذلك فى ٢٠٠٤/٣/١٧، حدثت تغيرات فى أبعاد الأجزاء البارزة من الأوتاد استنتج منها أن عملية الإزالة تسود فى الجانب المواجه للرياح مع اختلاف معدلاتها مع التناقص فى معدلات الإزالة بالبعد عن الحافة، كذلك اتضح الاتجاه نحو الإرساب بالاقتراب من القمة وبالاتجاه نحو منصرف الرياح (فى الجانب الآخر) مع عدم تساوى عمليات الإرساب وعدم انتظامها فى نفس الوقت، وقدر صافى التراكم بمتوسط ٥٤,٣سم للوتد الواحد.



لوحة (٤١) الأوتاد المثبتة لقياس الإزاحة والإرساب فى الكثيب المدروس فى شكل (٤٤)

وبحساب معدلات الإزالة ومعدلات الإرساب على جسم الكثيب اتضح وجود زيادة فى معدلات الإرساب مقارنة بما تم إزالته، ويعنى ذلك حدوث إثارة للرمال من المناطق المجاورة وهدوء الرياح بالاقتراب من الحافة، حيث يمتد الكثيب مجال التجربة مع بطء انحدار الأرض وانخفاض سطحها بالاتجاه شمالاً.

القياس المورفومترى للكثبان الطولية :

تعتبر القياسات الميدانية للكثبان الطولية مصدراً لبيانات هامة عن شكل الكثيب والذى من خلال تحديده وتحديد أبعاده يمكننا استنتاج العمليات الطبيعية التى كونته وقامت بتشكيله، ويتم ذلك من خلال عمل قطاعات عرضية لكثبان طولية مختارة لمنطقة الدراسة بحيث تمثل النمط السائد. بحيث يمكن عمل قطاع عرضى أو أكثر لكل كثيب ويتم إنشاءه على أن يكون امتداده عمودياً على محور امتداد الكثيب بالاستعانة بالبوصلة وشريط قياس وجهاز ابنى ليفل لقياس الأطوال وزوايا الانحدار لأقرب نصف درجة، وتحديد الزاوية الحدية السفلى والحدية العليا والزاوية المميزة لكل قطاع وذلك لتحديد خصائص زوايا الانحدار أو على طول امتداد القطاعات وغيرها من خصائص مورفومترية يمكن استنتاجها من تمثيل القياسات الميدانية فى أشكال بيانية بعد تحليلها إحصائياً.

(د) النبــاك - (خصائصها الشكلية والمورفومترية من القياسات الميدانية)

يقصـــد بالنــبكة تجمع رملى حول نبته أو تجمع من النباتات الجفافية مثل الرطريط والعوسج والعرفج والغرقد وغيرها.

ويســـاعد فى تكون وتشكيل النبكة مجموعة من العوامل يتمثل أهمها فى الرياح والتى عادة ما يمـــتد محـــور النبكة مع اتجاه الرياح السائدة، كذلك فى الجفاف وتوفر مصدر دائم للرمال التى تسفيها الـــرياح وترســـبها حـــول النبتة التى تتصيدها وتعمل على تثبيتها والتفاعل معها، هذا إلى جانب عدم تضرس السطح الذى تتراكم فوقه النباك، والتى عادة ما يكثر فى المناطق الجافة سواء بالسواحل المدارية خاصة فوق الترسبات والمراوح الفيضية الواسعة أو فى بطون الأودية خاصة فى قطاعاتها الدنيا، وكذلك فى داخـــل المنخفضـــات الصـــحراوية حيث تعتمد النباتات الجفافية فى نموها على المياه تحت السطحية القريبة حداً من السطح وكذلك على الندى والرطوبة النسبية خاصة فى المناطق الساحلية.

ماذا يتم فى الميدان فيما يخص النباك ؟

١) يتم تحديد مناطق النباك بالاستعانة بخرائط تفصيلية أو صور جوية.

٢) يـــتم تقســـيم حقل النباك بنفس طريقة تقسيم حقل الكثبان وحساب الكثافة الحسابية لكل ١٠٠م٢ على سبيل المثال.

٣) تتم إجراءات قياسية لأبعاد نباك مختارة وممثلة لكل الأنواع والأحجام وتتمثل فى قياس الطول والعـــرض والارتفـــاع ومتوســـط ارتفاع النبات الذى يجب معرفة نوعه وخصائص مجموعه الجذرى والخضرى، وكذلك قياس زوايا انحدار أسطح النبكة (المقدمة والمؤخرة والجوانب) ثم تحديـــد محـــاور الامتداد بواسطة البوصلة وتسجل كل هذه القياسات لتبدأ مرحلة التحليل الاحصائى لأبعادها واستخلاص نتائج التحليل وتفسيرها.

عـــلى سبيل المثال تطبيق معامل الارتباط بين الأبعاد المختلفة للنبكة وكذلك معامل الارتباط بين ارتفاع النبات وارتفاع النبكة وتفسير أسباب الاختلاف.

ففـــى دراســـة للنباك بالواحات البحرية لمحمود دسوقى ٢٠٠٥ تم استخلاص نتائج القياس بالجدول التالى (١٣).

جدول (١٣) نتائج التحليل الإحصائي لأبعاد نباك إحدى الحقول بمنخفض الواحات البحرية

التحليل الإحصائي	طول/متر	عرض بالمتر	أقصى ارتفاع	متوسط ارتفاع النبات فوق سطح النبكة بالمتر	اتجاه محور النبكة
أقصى درجة	١٨,٣	٣١,٢	٣,٨	٤,٢	٣٣٠
أدنى قيمة	٠,٦	٠,٤	٠,٣٥	٠,٥٥	٢٠٥
المتوسط	١١,١٢	٣,٣٧	١,٦١	٢,٠٢	٢٩٨,٣
الانحراف المعيارى	٩,٢٥	٥,٠٨	١,٢١	٢,٤٧	٢٩٤,٨
معامل الالتواء	-٠,٢٦٧	٠,٧٣٤	-٠,٠٨٢	٠,٦١٣	٠,٩٦٤

عن محمود دسوقى، ٢٠٠٥

ويتضح منه التراوح الكبيرة فى ارتفاع النباك بالمنخفض بين ٠,٣٥ و ٣,١٥ متر مع متوسط عام للارتفاع ١,٦١متر.

كمـــا يتراوح متوسط ارتفاع النبات فوق سطح النباك بين ٠,٥٥ متر و ٤,٢م بمتوسط عام مـــترين، قد لاحظ ميدانياً وجود علاقة واضحة وطردية بين حجم النباك من جهة ونوع وازدهار النمو النباتى من جهة أخرى مع كبر أحجامها بشكل عام مع نبات الطرفا خاصة فى منطقتى طبلمون والتحتية.

ومن خلال تحليل العلاقات الكمية بين أبعاد النباك بالمنخفض وجد أن هناك مجموعة من العلاقات لها دلالة إحصائية وأهمها العلاقة بين الطول والعرض والطول والارتفاع والطول وارتفاع النبات والارتفاع العرض والارتفاع وارتفاع النبات فوق سطح النبكة وغيرها (للاستزادة راجع محمود دسوقى، ٢٠٠٥، ص ص ٢٢٢-٢٢٤)

كذلـــك قام بقياس متوسط زوايا الانحدار لمقدمات النباك (الانحدار الأمامى) وزوايا انحدار الجانب الخلفى وانحدار الجوانب الشمالية الشرقية والجوانب الجنوبية الغربية لعينة من النباك.

ومن خلال القياس تم حساب أقصى قيمة وأدنى قيمة والمتوسط والانحراف المعيارى ومعامل الالتواء. كما يظهر ذلك من نتائج التحليل التى يوضحها الجدول (١٤).

جدول (١٤) نتائج التحليل الإحصائي لمتوسطات درجات انحدار جوانب النباك بمنخفض الواحات البحرية

الزوايـــا	الانحدار الأمامى (مقدمة النباك)	الانحدار الخلفى	انحدار الجوانب الشمالية الشرقية	انحدار الجوانب الجنوبية الغربية
أقصى قيمة	٣٤	٢٣	٣٤	٣٧
أدنى قيمة	١٣	٧	١٨	١٩
المتوسط	٢١,٤٦	١٤,٨٥	٢٨,٣٩	٢٧,٤٦
الانحراف المعيارى	١٥,٤	١١,٢٦	٢٥,٧٤	٢٢,٣٢
معامل الالتواء	٠,٢٥١	٠,٣٤٨	٠,٢٩٦	٠,٣٢٥

عن محمود دسوقى، ٢٠٠٥

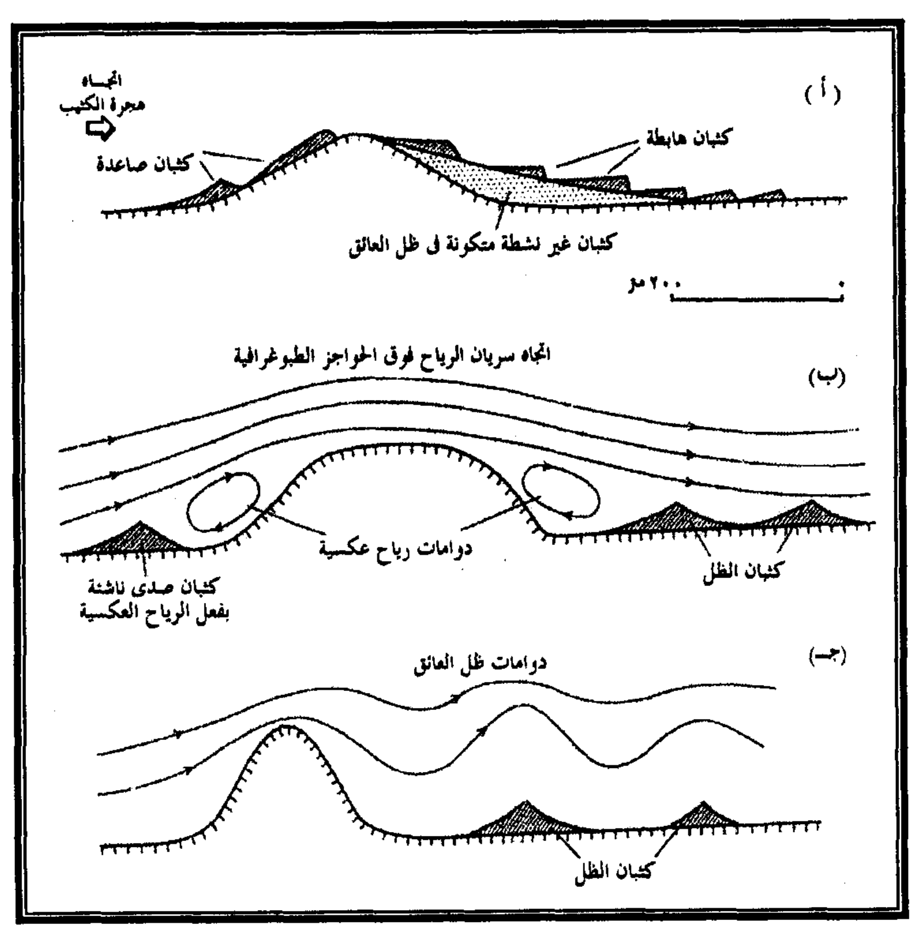
من هذا الجدول (١٤) يتضح ما يلى :

١) يمـــثل الانحدارات الشديدة ٤٩٪ من إجمالى الانحدارات حيث تزيد هذه النسب على جوانب النباك عـــنها فى المقدمات والمؤخرات بينما تمثل الانحدارات المتوسطة ٢٧,٦٪ من إجمالى الانحدارات وتزيد هذه النسبة إلى ٤٢٪ فى المقدمات و ٦٤٪ فى مؤخرات النباك وتبلغ نسبة الانحدارات الشديدة جداً ١٨,٩٪ مـــن إجمالى الانحدارات وتزيد على الجوانب الشمالية الشرقية إلى ٣٥,٨٪ والى ٢٨,٦٪ على الجوانب الجنوبية الغربية بينما تبلغ نسبة الانحدارات الخفيفة ٤,٤٪ وتتركز فى مؤخرات النباك.

ومن خلال العلاقات الارتباطية وجد أن هناك علاقة طردية موجبة بين ارتفاع النباك ودرجة الانحـــدار خاصـــة فى مقدمات النباك حيث تصطدم بها الرياح المحملة بالرمال فتهبط سرعتها وترسب حمولتها مبتدئة بالمقدمة حيث يتركز الترسيب، ومن ثم يزداد الارتفاع (المرجع السابق، ص٢٢٧).

٢) يتم أخذ عينات من رمال النباك من الأمام والخلف وتحليلها معملياً تحليلاً حجمياً وتفسير نتائج التحليل.

إلى جانـــب ما سبق هناك أشكال من الترسبات الرملية المتنوعة يمكن ملاحظتها وقياسها فى الميدان وتحليل نتائج قياساتها واستنتاج العديد من الجوانب المرتبطة بنشأتها وتكوينها ومنها ما يلى والتى يوضحها الشكل (٤٥).



شكل (٤٥) تكون الكثبان الهابطة والصاعدة وكثبان الظل وكثبان الصدى

(هـ) الكثبان الصاعدة :

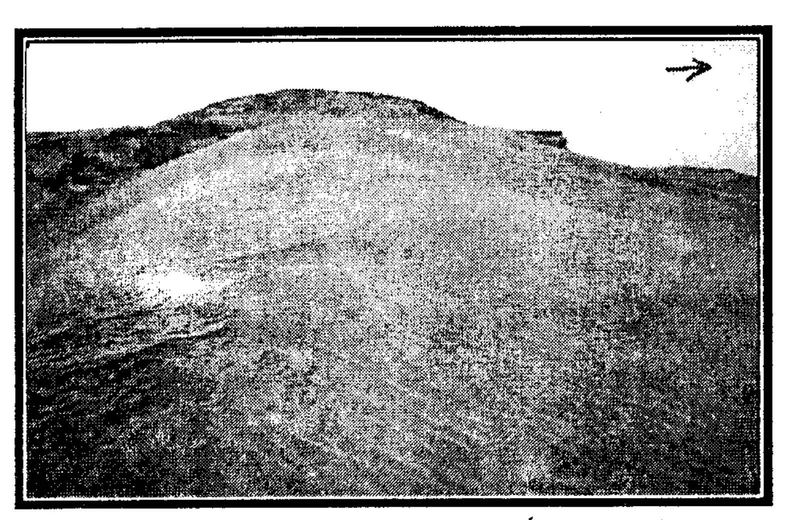
ينشأ هذا النوع من الكثبان الرملية مع وجود عائق يواجه الرياح المحملة بالرمال قد يتمثل فى منحدر تل أو حافة ممتدة مثل الحافة الشمالية لمنخفض الداخلة فى مصر، وعادة ما تتوقف هذه الكثبان ويتوقف تشكيلها على الخصائص المميزة للعائق *(Pye and Toasr, 1995, p.166)*، فعندما يتراوح انحدار الحافة أو جانب التل ما بين ٣٠ و ٥٠ درجة يبدأ تكون الكثيب الصاعد بينما إذا ما قل الانحدار عن ٣٠ درجة يكاد ينعدم وجود الكثبان الصاعدة مع عدم وجود إعاقة واضحة لتيار الهواء المتقدم باتجاه المنحدر، وفى حالة زيادة درجة الانحدار عن ٥٠ درجة يحدث ارتداد للتيار الهوائى فى شكل دوامات مرتدة تشكل ما تعرف بكثبان الصدى ***Echo Dunes*** وذلك على مسافة من أقدام المنحدر.

(و) الكثبان الهابطة :

وتظهر على طول امتداد الأودية المنحدرة على جوانب الحافات الجبلية، وتتجه مقدماتها باتجاه منصرف الرياح.

(ز) كثبان الظل :

وهى عبارة عن كثبان صغيرة طولية الشكل تتميز بالثبات النسبى، وتتراكم فى ظل العقبات الطوبوغرافية ويرى ***Bagnold*** أنها تتكون بسبب انحراف تيار الهواء فوق وحول العقبة الطوبوغرافية حيث يبدأ الترسيب أمام العقبة وعلى الجانبين ليندمج الذراعان وتتجمع الرمال وتزداد حجماً وطولاً وارتفاعاً كما أنها قد تتكون فى



لوحة (٤٢) أحد كثبان الظل خلف إحدى العقبات بطريق بئر واحد بالحافة الجنوبية لمنخفض سيوة

اتجاه منصرف الرياح عندما يتجه التيار الهوائى على طول ممر جبلى. كما يرى كما من ***(Pye and Tosar, 1995)*** أن كثبان الظل تتكون فى اتجاه منصرف الرياح عند وجود كتلة صخرية أو نبتة شجرية، حيث يؤدى وجودها إلى تدفق التيار الهوائى المحمل بالرمال من مصدر رملى مر فوقه وهو فى اتجاهه نحو هذه العقبة والتى يؤدى وصوله إليها هبوط سرعته واتجاهه بالتالى لتفريغ حمولته وتراكمها خلف العقبة كما يتضح ذلك من اللوحة (٤٢).

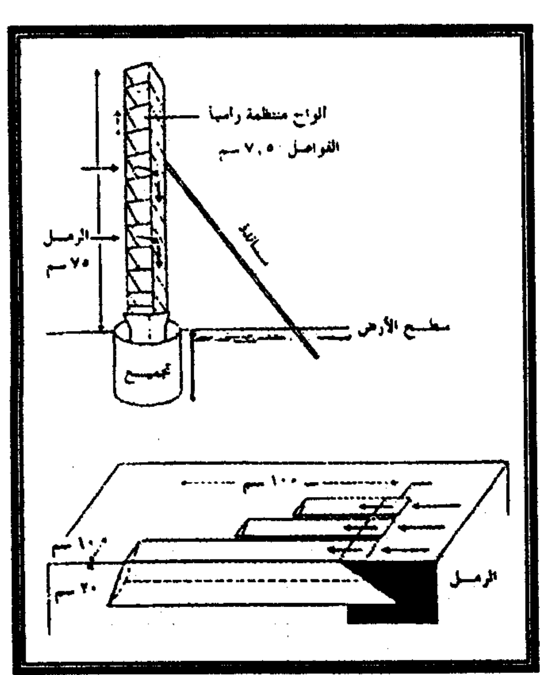
وقد حدد المؤلفان السابقان أهم العوامل المؤدية لتكون كثبان الظل فى وجوده عائق طوبوغرافى يؤثر حجمه وارتفاعه وامتداده فى أبعاد الكثيب الذى يتكون خلفه ويتمثل كذلك فى هبوب رياح سائدة من اتجاه معين تكون قد مرت على مصدر رملى غنى قبل وصولها للعقبة الطبوغرافية.

كذلك هناك الكثبان العرضية التى تبدو فى الطبيعة فى شكل تموجات رملية ضخمة تمتد بشكل عمودى على اتجاه الرياح السائدة وترتبط فى نشأتها بوجود عوائق تضاريسية أو حدوث تغير فى اتجاه الرياح (للاستزادة راجع محمد صبرى محسوب، ٢٠٠١).

ومن الأشكال الأخرى الكثبان الطولية المركبة والتى تنتج عن التحام كثيبين أو أكثر مع تعدد حافاتها، وهناك الكثبان التى تنحرف أطرافها فى اتجاه منصرف الرياح بسبب هبوب الرياح ثانوية متعامدة على اتجاه الرياح السائدة، وهناك الكثبان الطولية المثبتة بالنباتات والتى عادة ما تتسع قممها وتستدير وتأخذ شكل (V) عند اتصالها ببعضها وذلك فى زوايا تتراوح ما بين ٣٠-٥٠ درجة.

ثالثاً : قياس حركة الرمال فى الحقل والمعمل :

تتمثل المشكلة الرئيسية المرتبطة بقياس حركة الرمال فى الحقل فى مدى تطور مصايد الرمال *Sand Traps* بحيث تكون تلك المصايد قادرة بقدر الإمكان على حجز الرمال، وإن أمكن أن تفرق بين الرمال المتحركة بالزحف *Creeping* وتلك المتحركة بالقفز *Saltation*. وكما معروف فإن أكبر كمية من الرمال تتحرك عن طريق القفز وذلك بالتقدم للأمام فى اتجاه منصرف الرياح فى شكل سلسلة متحركة من الكومات الرملية، وعلى ذلك يجب أن تكون مصيدة الرمال مرتفعة بالقدر الذى يكفى للامساك بحبات الرمال القافزة.



شكل (٤٦أ) مصيدتان للرمال المتحركة
إحداهما رأسية والأخرى أفقية

وقد اختبر كل من *Horikawa and Shen, 1960* نوعين من مصايد الرمال الأفقية وخمسة أنواع من المصايد الرأسية وذلك بهدف تقدير مدى كفاءتها كما يتضح ذلك من الشكل (٤٦ أ). وتكمن الصعوبة هنا فى الاختلاف بين كل من الزحف السطحى والقفز، وقد تم تصميم مصيدة أفقية مقسمة إلى عدة أقسام متعامدة على اتجاه الرياح السائدة بحيث تتمكن من حجز الرمال الزاحفة تاركة الحبات الرملية القافزة لمصيدة أخرى توجد أمامها.

وقد قدرت الكميات المقولة عن طريق الزحف باستخدام هذه المصائد نحو ٢٥٪ من مجموع كمية الرمال المتحركة، وإن هذه النسبة لا تتغير مع تغير سرعة الرياح *(King, C., A., 1978, p.131)*.

ومـــن مميزات المصائد الأفقية أنها لا تعمل على اضطراب الرياح، وإن من الصعب اختيار الطول المناسب لها، كما أنها لا تستطيع إعطاء معلومات ترتبط بأثر الارتفاع على سرعة الحركة.

أما بالنسبة للمصائد الرأسية *Vertical Sand Traps* فمن أهم مسالبها أنها تؤدى إلى اضطراب الـــرياح التى تهب على المنطقة مما يتطلب أخذ الحيطة والحذر فى تصميمها وذلك بهدف الحد من ذلك والوصول بتأثيرها إلى الحد الأدنى، من هذه التصميمات جعل عرض المصيدة فى الجانب الذى تهب منه الـــرياح صغير جداً، مثلما فعل *Bagnold* عند تصميمه لمصيدة الرمال التى استخدمها فى تجاربه الحقلية العديـــدة بصـــحارى مصر وشمال أفريقيا. وتوجد مشكلة أخرى ترتبط بالمصائد الرأسية تتمثل فى برى الأجزاء السفلى منها(*).

ومـــع كـــل مـــا سبق فإن استخدام مصايد الرمال فى الدراسة الميدانية مازال محدودا بدرجة كـــبيرة، ويعد *Bagnold* من أكثر من قام باستخدامها فى دراساته العديدة عن الكثبان الرملية، خاصة فـــيما يـــتعلق بسرعة الرياح على مناسيب مختلفة وعلاقتها بحركة الرمال، فقد قام باستخدام مصيدتين فى قـــياس حـــركة الرمال إحداهما أفقية صغيرة الحجم تختص بحركة الرمال الزاحفة، والأخرى رأسية ضـــيقة تخـــتص بحجز الرمال القافزة (عرضها نصف بوصة وارتفاعها ٣٠ بوصة)، وقد دفنت المصيدة الأفقـــية فى الرمال تاركة فتحة صغيرة لمرور الرمال الزاحفة (راجع الشكل). كما أن المصيدة الرأسية مثقوبة من أسفل وذلك بهدف الحد من اضطراب الرياح عند مرورها بالمصيدة.

وجديـــر بالذكر أن الدراسات الميدانية (الحقلية) المجدية هى تلك التى تتم أثناء هبوب الرياح القويـــة أو الرياح العاصفة، ومن ثم فمن المهم للغاية فى هذا الشأن التركيز على تثبيت الأجهزة الخاصة بالقـــياس تثبيـــتاً جيداً حتى لا تتأثر بالرياح أو تدمر بفعل العواصف التى يصعب أصلاً التنبؤ بحدوثها فى تلك الظروف المناخية الصحراوية المتطرفة.

ولقـــد خـــرج *Bagnold* بـــالعديد مـــن النتائج التى لاحظها فى الميدان والتى ترتبط بكيفية تحـــرك الرواســـب، فقـــد وجـــد أن سرعة الرياح على سبيل المثال تزداد زيادة لوغاريتمية بالارتفاع فوق سطح الأرض.

(*) مازالت مصايد الرمال فى حاجة للتطور، فعلى سبيل المثال يمكن للمصيدة الرأسية أن تقسم إلى أقسام ثانوية للامساك بالرمال المتحركة على مناسيب مختلفة وذلك لكى تعطى مؤشرات ودلالات هامة على العلاقة بين الارتفاع وحجم الحبيبات القافزة.

وجاء بعده عدد من الجيومورفولوجيين المهتمين بدراسة حركة الرمال مثل *Belly, 1964* الذى أجرى تجارب عديدة خاصة بعلاقة الرياح بالرمال المتحركة. وكذلك تجارب خاصة بمدى تأثير الرطوبة عـلى سرعة الرياح المطلوبة لتحريك الحبيبات، وهو صاحب النموذج التجريبي المكون من نفق الرياح *Wind Tunnel* وطوله ١٠٠ قدم وعرضه أربعة أقدام بارتفاع قدمين ونصف، تمر خلاله الرياح بسرعة تتراوح ما بين ٢٤ و ٤٠قدماً فى الثانية وهى رياح مولدة اصطناعياً عن طريق مروحة موضوعة عند نهاية النفق. وقـد اسـتخدم لقياس سرعة الرياح جهاز عبارة عن أنبوب مدرج ومنثنى بزاوية قائمة، كما استخدم مصيدة رمال رأسية لقياس حركة الرمال واستخدم مصيدة أخرى أفقية مقسمة إلى ١٨ قسماً.

وقد استخدم نموذجه هذا إجراء تجارب لتحديد أثر جوانب النفق على سرعة الرياح وقام بقياسات للقطاعات الرأسية للرياح *Vertical Wind Profiles* وكذلك قام بقياسات للسرعات المختلفة، وسجل من خلال تجاربه المعملية فى هذا النموذج ملاحظات تتعلق بالتموجات الرملية *Sand Ripples* ووجد أنها تبدأ فى الظهور مع أقل سرعة للرياح بينما تختفى مع زيادة سرعة الرياح على ٢٦ قدماً فى الثانية. وإن كان لم يلحظ وجود علاقة بين طول التموج وسرعة الرياح والتى توصل إليها باجنولد *Bagnold* من تجاربه العديدة.

وقد قام *Belly* كذلك بقياس متوسط المسافة التى تقطعها الحبيبات الرملية ووجد أنه يتراوح ما بين ١,٣ و ١,٦ قدم مع زيادة سرعة الرياح من ٢٨ إلى ٣٥ قدماً فى الثانية *(Ibid,p.192)*، ورغم أن تجارب *Bagnold* قد أظهرت العلاقة بين طول المسافة التى تقطعها الحبيبات الرملية وطول التموج، فإن هذه العلاقة كما ذكرنا لم تظهر فى دراسات وقياسات *Belly*، وإن كان الأخير قد وجد أن حجم حـبة الرمل يؤثر ف طول المسافة التى تقطعها بطريقة القفز، وكلما قل حجم الحبيبة زاد طول المسافة *Fetch* (مسطح القفز) وكلما قل حجم الحبيبة عن نصف ملليمتر تظهر زيادة ملحوظة فى طول المسافة التى تقطعها فى تحركها.

وقد اختبر *Belly* قدرة المصيدة الرأسية ومقاومتها بالمصيدة الأفقية، وأظهرت نتائج دراسته أن كفاءة الأولى تزداد حينما تكون سرعة الرياح ٣١,٥ قدم فى الثانية والعكس مع انخفاض سرعة الرياح.

ومـن النتائج الهامة أيضاً لتجارب نموذج *Belly* ما يرتبط بتأثير الرطوبة على سرعة الرياح، فقد اتضح أنه إذا ما احتوت الرمال الناعمة على ما بين ٣,٢٪ من الرطوبة (محتوى التربة من الرطوبة) ستكون فى هـذه الحالـة فى حاجـة إلى رياح قوية لكى تحركها، ومن المعروف أن احتواء الرواسب على المياه يؤدى إلى زيادة تماسكها وزيادة قدرتها على مقاومة الرياح.

الفصل السادس

الأنهار والتعرية النهرية من الدراسة الميدانية والتجارب المعملية

أولاً : قياس حركة مياه النهر ميدانياً

ثانياً : طرق قياس حمولة النهر ميدانياً.

ثالثاً: بعض القياسات الميدانية الخاصة بالتعرية النهرية.

مقدمة :

تعد الأنهار والعمليات النهرية من أكثر النظم الجيومورفولوجية التى تعمل على سطح الأرض أهمية فهى التى تكون السهول الفيضية الدالات النهرية التى تتركز بها المدن الرئيسية فى العالم وتتركز الاستخدامات البشرية المختلفة.

والواقع أن العمليات النهرية قد تقوم بوظائفها بذاتها أو من خلال عوامل جيومورفولوجية أخرى، فالنهر قد يؤدى من خلال العمليات التى يقوم بها إلى تكون سفوح منحدرة غير مستقرة على جانبيه كما أنه قد يقوم بتشكيل جزيرات على طول مجراه ونفس الشيء قد تقوم به ثلاجة عندما تنصهر فتكون نهراً مضفراً يقوم بنقل المفتتات الجليدية وترسيبها عند مصبه (Morrisaw, M., 1985, pp:1-15).

والواقع أن الكثير من الخصائص المورفومترية والجيومورفولوجية للقنوات النهرية وشبكات التصريف وخصائص الحوض التضاريسية وغيرها يمكن استخلاصها من القياسات المورفومترية للخرائط والصور الجوية.

ولكن الكثير من الخصائص لا يمكن التعرف عليها سوى من خلال قياسات ميدانية متاحة وممكنة وتصميم بعض النماذج والتجارب المعملية التى تفيد كثيراً فى تفهم عمليات التعرية النهرية والتشكيل الأرضى التى تقوم به وقياسات أبعاد وخصائص الكثير من الملامح المورفولوجية المرتبطة بالتعرية النهرية.

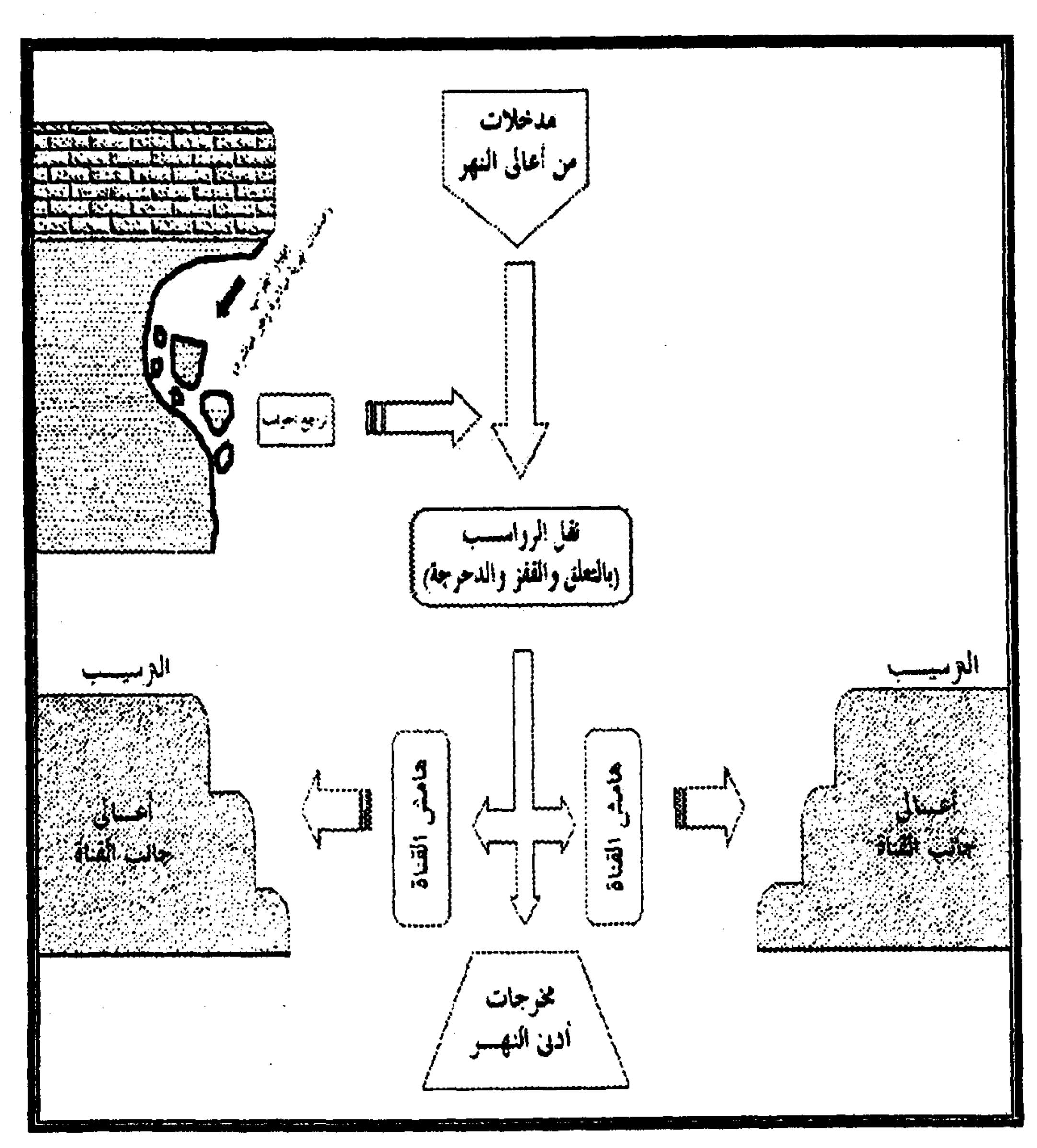
فقد اكتشف الجيومورفولوجيون عدداً متزايد من العمليات النهرية التى يمكن تتبعها من الدراسة الميدانية بحيث تكون أكثر وضوحاً ودقة من تتبعها من التجارب المعملية أو من خلال تطبيق نظريات وقوانين معينة.

على سبيل المثال فإن تقديرات الجيومورفولوجيين لمعدلات نقل الرواسب Sediments Transport Rates وكذلك تفسير خصائص البنية من خلال تحديد التصريف المائى الكلى Gross Dicharge ليس بالضرورة أن يتم من خلال النمذجة الفيزيائية أو الميكانيكية.

وقد أهتم كل من Shield and Gilbert وباجنولد Bagnold وآخرون بالدراسات والقياسات الحقلية الخاصة بالأنهار مثل قياس الأعماق وسرعة المياه وأنواع الرواسب وأحجامها وصورها التوزيعية ودرجة تركز الرواسب فى مياه النهر وتحليل تصرفات النهر، مع تكرار قياس ميدانى للشكل مع فحص الخرائط التاريخية والصور الجوية بتواريخ متتابعة خاصة فى مناطق تصيد المياه أو فى أجزاء أخرى مثل الهيدرولوجيا والمناخ.

ومـــا يفضـــل الجـــيولوجى القيام به يتمثل فى القياس المباشر لسرعة الماء وتعقب الرواسب Sediments Tracing وأخـــذ العيـــنات وقياس شكل القناة واتجاهات تغير الشكل بالمسح الأرضى والمصادر التاريخية ومن ثم تحديد سرعة التغير إلى جانب محاولة تحديد مواضع الترسيب على طول مجرى النهر (Goudi, 1981, p.197).

وعـــادة ما تعالج عمليات القناة النهرية كقضية أساسية وعلى سطح الأرض وكلها تنقل بفعل النهر وأخـــيراً يترسب أو يتحرك من نظام نهرى إلى آخر كما يتضح ذلك من النظام الموضح بالشكل (٤٦ ب) والذى يحتاج بالضرورة لمقياس سرعة الجريان على طول مجرى النهر.



شكل (٤٦ ب) النظام النهرى River System

أولاً : قياس حركة مياه النهر الميدان :

يهـــدف قـــياس حركة المياه فى الأنهار إلى معرفة معدلات النحت والإرساب النهرى وكذلك معرفة عمليات نقل المفتتات وموضح علاقة المياه بشكل الحوض وخصائص شبكات التصريف.

أ) محطات القياس : Gauging Station

توجـــد فى مواضـــع عـــلى المجرى لتحديد منسوب سطح النهر وتحديد حجم التصريف عند المقطع العرضى للمجرى بموضع المحطة وذلك من خلال فترة زمنية معينة ويكون نتاج القياس متر/ثانية أو قدم/ثانية وتحسب بملاين الأمتار المكعبة فى اليوم أو الشهر أو السنة.

ويتم قياس وفقاً لشروط أساسية يجب توافرها أو على الأقل توفر معظمها وهى كالتالى :

١) أن يكون المجرى مستقيماً مع تماثل انحدار جانبيه نحو قاعه.

٢) خلو المجرى المائى فى مقطع القياس من النباتات أو الكتل الصخرية التى تعوق حرمة المياه.

٣) أن يكون النهر فى مرحلة الاتزان والاستقرار جيومورفولوجياً.

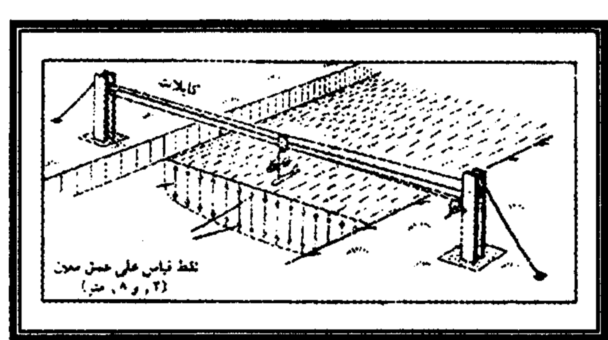
٤) أن تندفع المياه باتجاه منصرف الرياح.

ويـــتم قـــياس تصريف النهر بعدة طرق أكثرها شيوعاً طريقة قياس مساحة المقطع العرضى Cross Section لقناة المجرى Stream Channel × سرعة الماء بالمجرى.

ويمكن استخدامها بمساعدة أسلاك معدنية لحمل الجهاز ويتطلب هذه الطريقة قياس منسوب الماء بالمجرى وقياس سرعته.

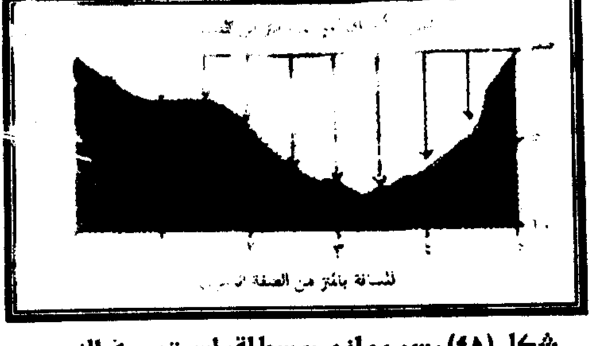
(ب) بالنسبة لقياس منسوب الماء فى النهر :

فيتم باستخدام شاخص مدرج أو باستخدام أجهزة أوتوماتيكية تسجل الارتفاع بطرقة دورية وبشـــكل مستمر، والشاخص عبارة عن لوح خشبى أو معدنى مقسم إلى وحدات وأجزاء من المتر يتم تثبيتها عند ضفة القناة المائية بحيث يمكن قراءتها بشكل دقيق.



شكل (٤٧) قياس سرعة النهر وقياس منسوبه

أمـــا جهـــاز القـــياس فعبارة عـــن اسطوانة تدور حـــول نفســـها عكـــس اتجـــاه عقـــارب الساعة يثبت حولها ورقـــة بيانـــية مقســـمة إلى أيـــام وســـاعات تتصل الاسطوانة بعجلـــة تـــتحرك حـــركة نصـــف دائـــرية يثبت عليها شريط معـــدنى يتصـــل مـــن إحـــدى نهايتيه بثقل بوزن محدد، بينما يتصـــل الطـــرف الآخـــر للشـــريط بعوامـــة حساســـة ترتفع وتـــنخفض مـــع تغـــير منســـوب المـــاء فى القناة المائية بحيث أنه عـــندما يـــرتفع تـــدور العجلـــة وتـــرتفع العوامـــة ليهـــبط الطـــرف المعلـــق بـــه الـــثقل وتنخفض العوامة عند هبوطه لتسحب الـــثقل مـــنها، وتتصـــل العجلـــة بمؤشـــر فى الداخـــل يتصـــل العجلـــة بمؤشـــر فى الداخـــل يتصل بمحبرة ويسجل على ورقة بيانية مثبته على الاسطوانة الدوارة منسوب الماء تبعاً لأيام الأسبوع وساعاته شكل (٤٧).


شكل (٤٨) رسم بيانى مبسط لقياس تصريف النهر

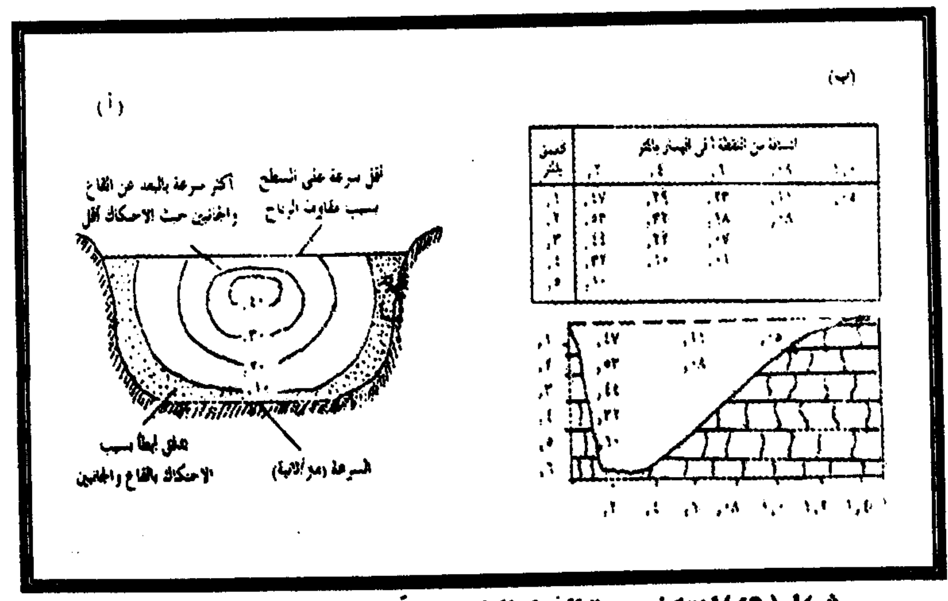
وعـــادة ما يثبت الجهاز داخل صندوق مصنوع من الخشب ويثبت أسفله أنبوب يوضع بالعوامة والثقل حتى يصبح الماء مستقراً وتحميها مـــن الدوامات Eddies والتى قد تسبب تضليلاً فى القـــياس (تغلب داوود، ٢٠٠٢، ص٢٣١)، راجع الشكل (٤٨) الذى يبين رسماً بيانياً مبسطاً يوضح قياس تصريف النهر.

(جـ) بالنسبة لقياس سرعة الماء وتصريف النهر :

يتم قياس سرعة مياه النهر بواسطة العديد من الأجهزة منها ما هو بسيط وغير مكلف ومنها ما هو معقد وبالغ التكلفة.

ومن أجهزة القياس المعروفة، جهاز قياس سرعة التيار المائى Current Meter والذى يمكن استخراجه كذلك فى مقياس التيارات الشاطئية بمنطقة الشاطئ القريب فى المناطق الساحلية. وتستخدم وحدات القياس سم/ثانية أو قدم فى الثانية أو متر فى الثانية راجع شكل (٤٧) الذى وضح قياس تيار مائى فى النهر.

ويوضـــح الشـــكل رقـــم (٤٩) اختلاف سرعة التيار المائى تبعاً للعمق أو البعد عن الجانبين وذلـــك فى قطاع عرضى بمجرى مائى يتميز بالانتظام والاستقامة كما يوضح الشكل السابق (٤٩ ب) ســـرعة الجـــريان المائى خلال مقطع عرضى للثنية بالقناة النهرية عند محطة قياس بعد نقله بمقياس رسم مناســـب على ورق بيانى (يلاحظ اختلاف السرعة من أعلى إلى أسفل كما تختلف السرعة من منتصف الثنـــية Meander مـــن سرعة التيار قرب الجانب المحدب والجانب المقعر للثنية، حيث تنخفض سرعة التيار عند الجوانب والقاع بينما تبلغ أقصاها قرب السطح.



شكل (٤٩) اختلاف سرعة التيار المائى تبعاً للعمق والبعد عن الجانبين

وعـادة ما تستغرق قراءة سرعة التيار المائى عند كل عمق من قناة النهر ما بين نصف دقيقة ودقيقة واحدة ويتم فى العادة تصحيح القراءات الخاصة بسرعة التيار وذلك باستخدام معامل تصحيح مثبت على جهاز قياس سرعة التيار وذلك من خلال ضرب القراءة التى تم تسجيلها × معامل التصحيح (المرجع السابق، ص٢٣٢).

ويمكن الحصول على التصريف المائى من خلال ما يلى : راجع الشكل (٤٨)

التصريف المائى = مساحة القطاع × سرعة المـاء

كما يتضح ذلك من الشكل (٤٩ أ) والذى يمكن أن نتفهم منه ما يلى :

١) يمكن القيام بقياس عرض قناة النهر بشريط قياس.

٢) استخدام شاخص مدرج لقياس العمق على مسافات متساوية من القطاع العرضى.

٣) رسم القطاع العرضى على ورق رسم بيانى.

٤) يتم حساب عدد المربعات البيانية لحساب مساحة النهر.

٥) استخدام مقياس تيار السرعة (أو بعض الوسائل البديلة) لقياس سرعة الماء فى النهر، ويمكن حسابها بشكل أدق من خلال قياس السرعة عند كل نقطة من نقط الأعماق التى تم حسابها من قبل.

٦) فى المثال المذكور فإنه كل مربع صغير ٥سم × ٥سم = ٢٥سم^2، حيث يبلغ مجمل عدد المربعات ٤٢٣.

إذاً مساحة المجرى = ٤٢٣ × ٢٥سم^2 = ١٠٥٧٥سم^2 (١٠,٥٨م^2)، فإذا ما كان معدل السـرعة فى هـذا المثال نصف متر فى الثانية فيكون تصريف النهر فى هذه الحالة = ١٠,٥٨م^2 ٠,٥ م/ثانية = ٢,٢٩ متر مكعب (Waugh, D., 1990, p.48) .

(د) كيفية قياس المحيط المبتل ونصف القطر الهيدروليكى :

وذلـك لأهمـية معرفـتها لاعطاء مؤشرات لكمية المياه فى أى قطاع عرضى للنهر وكذلك لإعطاء مؤشرات لمدى كفاءة النهر.

يوضح الشكل (٥٠ أ) أن المحيط المبتل = ٥ + ٥ + ٨ = ١٨م.

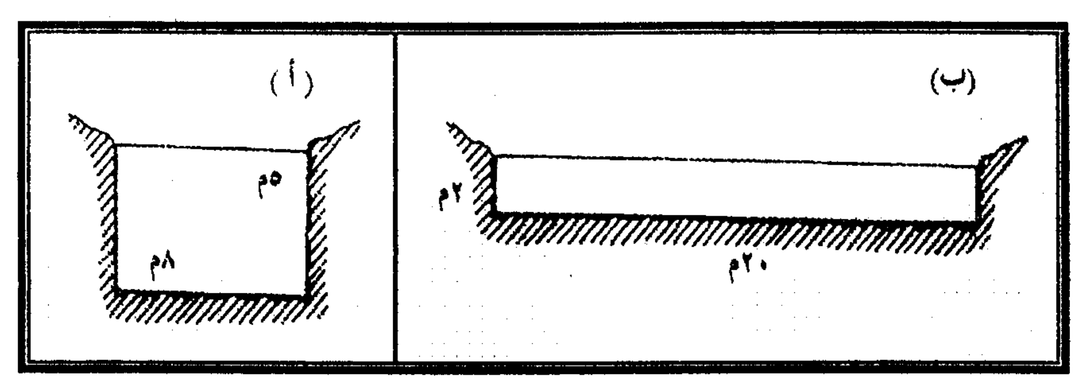
ويمكـن قـياس ذلك ميدانياً بسهولة من خلال تحديد عرض القناة (٨) وارتفاع الضفتين من نقطة المنسوب العلوى للماء.

ونفس الشيء بالنسبة للشكل (٥٠ ب) وهو أى المحيط المبتل = ٢ + ٢ + ٢٠ = ٢٤م.

ويمكن حساب نصف القطر الهيدروليكى للمقطع بالنهر فى شكل (٥٠ أ) على النحو التالى :

نحـدد مسـاحة المقطـع العرضى لـه وهى (٤٠م^{2}) كنتاج لضرب القاعدة وطولها (٨م) (عرض النهر) × ارتفاع الجانب (٥م) ثم نقسمه على المحيط المبتل وهو (١٨م) لتصبح النتيجة (٢,٢٢م)، وهى قيمة ما تعرف بنصف القطر الهيدروليكى للنهر، وبتطبيق ما سبق على الشكل (٥٠ ب) يمون نصف قطره الهيدروليكى (١,٦٦م)، وهكذا فإن نصف القطر الهيدروليكى يقصد به النسبة بين مساحة المقطع العرضى لقناة النهر وطول المحيط المبتل ويقصد بالأخير القاع والجوانب من القناة التى تحتك بها المياه.

وكـلما كـبر نصف القطر الهيدروليكى لأية قناة نهرية، يعنى ذلك أنه كمية المياه فى قطاعه العرضـى (داخل المحيط المبتل) أصغر وهذا بدوره يعنى احتكاكاً أقل ويسمح بسرعة أكبر، ومن ثم فإن المجرى (٥٠ أ) أكثر كفاءة من المجرى (٥٠ ب) والذى يتميز بنصف قطر هيدروليكى أصغر وبالتالى كمية أكبر من المياه داخل المحيط المبتل مما يعنى احتكاكاً أكثر وسرعة أقل.



شكل (٥٠) المحيط المبتل ونصف القطر الهيدروليكى

ثانياً : طرق قياس حمولة النهر ميدانياً :

مقدمة :

توجد الحمولة النهرية River Load فى أربع صور تتمثل فى كل من حمولة القاع Bed Load والحمولة القافزة والمواد العالقة Suspended Materials وحمولة الإذابة والأخيرة يتم نقلها بواسطة مياه الـنهر عـلى طول مجراه بطريقة غير ميكانيكية بينما يحمل المواد الدقيقة فى شكل حمولة عالقة، وبنقل المواد الصخرية الأكبر حجماً بالتدحرج Rolling أو بالقفز Saltation على طول امتداد القاع.

وكل المواد المحمولة هى مواد صلبة فى الأساس، أقلها حجماً تزيد على نصف الميكرون وأكبرها يصل إلى حجم الجلمود Boulder أو أكبر. والمواد المذابة عبارة عن أملاح تنقل فى شكل محاليل كيماوية.

وتـتحكم سرعة المياه الجارية فى حمولة النهر من المواد الصلبة والمذابة، ومن ثم فإنه من المهم جداً تحديد السرعة الحرجة Threshold Vilocity اللازمة لنقل المواد الصلبة بطرق النقل المذكورة.

وتوجـد علاقـة أظهـرتها الـتجارب المعملـية وهى علاقة معقدة ومتداخلة بين حجم المفتتات (كمياتها) وحجم حبيباتها وسرعة المياه.

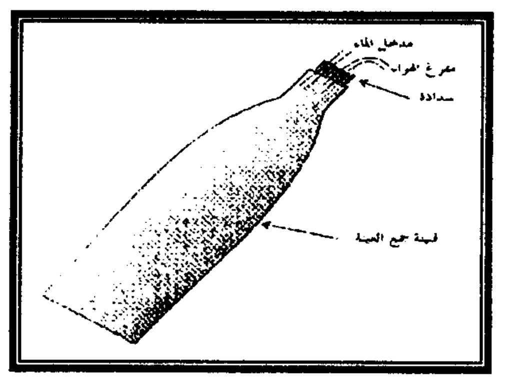
فقـــد أظهـــرت أن الســـرعة المطلوبة لنقل الحبيبات الخشنة (١٠ ملم فأكبر) يجب ألا تقل عـــن ١٠٠سم/ثانية بينما تتطلب الحبيبات الناعمة ١مللم سرعة ٢٥سم/ثانية، بينما وجد أن الحبيبات الأنعـــم (الأقـــل حجماً من نصف المليمتر) تتطلب سرعة أكبر عن الأخيرة وإن كانت أقل من الأول (قـــد تـــزيد على ٧٠سم/ثانية)، ويرجع ذلك إلى أن ذرات (جزيئات) المواد الناعمة تميل إلى الالتحام مـــن خـــلال شحن كهربى بجانب أن سرعة المياه قرب القاع المغطى بالرواسب الناعمة تكون أقل إذا ما قورنت بالقيعان الممتلئة بالمفتتات الخشنة (داوود تغلب، المرجع السابق، ص٩٩).

أمـــا بالنســـبة للترسيب، فإنه عندما تضعف طاقة النهر وتهبط سرعة مياهه فإن النتيجة تكون ظهـــور ظـــروف تلائم اتجاه المواد الناعمة للهبوط نحو القاع والتى عادة ما تبدأ فى الهبوط مع وصول ســـرعة الـــنهر إلى أقـــل من واحد سنتيمتر فى الثانية، مع الأخذ بطبيعة الحال فى الاعتبار أن معدلات ترسب الهبوط نحو القاع تختلف بالنسبة للمواد الصخرية المحمولة تبعاً لأحجامها وكثافاتها النوعية.

(أ) كيفية قياس المواد المذابة فى مياه النهر :

يمكـــن حســـاب كمية المواد المذابة فى مياه النهر والتى قد تفوق كميتها تلك المنقولة بواسطة التعلق وغيرها من طرق النقل المائى للنهر.

وبشـــكل عـــام فإن هناك علاقة بين تصريف النهر وتركيز المواد المذابة حيث أنه كلما قلت كمية المياه فى القناة النهرية فيعنى ذلك أن النهر يستقبل مياهاً جوفية مشبعة بمواد كيماوية مذابة (*).



شكل (٥١) زجاجة أخذ عينات الماء من مجرى النهر

ويـــتم القياس من خلال أخذ عينات الماء بحيث تؤخذ عن محطة قياس التصريف المائى على امتداد المقطع العرضـــى للـــنهر وذلك بواسطة زجاجة محكمة الإغلاق بغطاء مطاطى ويمر به أنبوبان أحدهما ليسمح بدخول الماء والثانى لتفريغ الهواء شكل (٥١).

ثم توضع العينة فى مكان بارد نسبياً ويتم تحليلها لتحديد تركيز المواد المذابة بها وذلك على النحو التالى :

١) يتم إحضار وعاء زجاجى جاف يتم وزنه ثم يضاف حجم معين من العينة المائية ثم يتم وضع الإناء الـــزجاجى بما به من ماء فى فرن بدرجة حرارة تصل إلى ١٠٠ درجة أو أكثر قليلاً إلى أن يتبخر المـــاء، ثم يـــتم وزن الوعاء بما علق به أو ترسب فى قاعه من أملاح ومواد كيماوية وبعد ذلك يتم حساب تركيز الأملاح بالمليجرام لكل لتر على النحو التالى :

(*) قدرت كمية المواد الكيمياوية المذابة التى تتلقاها البحار والمحيطات سنوياً بنحو ٢,٧ مليار طن تقريباً، ويبلغ نصيب نهر النيل منها حوالى ١٠ مليون طن.

تركيز الأملاح المذابة (مليجرام/لتر) = (وزن الدورق قبل ملئه بالماء – وزنه بعد تبخر الماء) / حجم الماء

٢) كما توجد طريقة لقياس تركيز الأملاح المذابة فى المياه من خلال طريقة التوصيل الكهربائى للماء والذى يختلف تبعاً لتغير نسب تركيز الأملاح والتى يستخدم فى قياس ملوحة التربة بالنسبة للمتخصصين فى دراسة التربة الزراعية (للاستزادة راجع تغلب وداوود، ٢٠٠٢، ص ص ٢٤٧-٢٤٩).

ويمكن حساب معدل التعرية الكيماوية (متر مكعب/كم٢/فى السنة) من خلال المعادلة التالية :

مجموع تصريف الأملاح المذابة(*)(طن)/سنة / مساحة الحوض/كم٢ × الوزن النوعى

(ب) قياس حمولة النهر من المواد العالقة : Suspended Materials

يصعب فى الحقيقة قياس الحمولة العالقة بالنهر وذلك بسبب اختلاف كمياتها من جزء إلى آخر داخل القناة النهرية، ورغم ذلك فإن هناك طريقة تقريبية للقياس تتمثل فى أخذ عينة من الماء محددة الحجم وتحسب منها نسبة تركيز المواد العالقة بها، والتى تحسب بالمليجرام/لتر أو تحسب بالجزء فى المليون P.P.M.

ويتم ذلك من خلال ترشيح عينة الماء بواسطة ورقة ترشيح Filter-Paper ثم يتم بعد ذلك تجفيفها عند درجة حرارة ١٠٥ وبعد ذلك يتم حساب وزن الرواسب المتبقية بالورقة من خلال طرح وزن ورقة ترشيح من نفس نوع وحجم ورقة الترشيح الأولى فينتج بطرحها من بعضها وزن المادة العالقة.

وتحسب نسبة تركيز المواد العالقة من خلال المعادلة التالية :

تركيز المواد العالقة = (وزن المواد الصلبة المتبقية بالجرامات × ١٠⁶) / كمية مياه العينة بالسنتمتر المكعب

ويمكننا بعد ذلك حساب كمية المواد المذابة من العينة السابقة وذلك من خلال تبخير المياه المتبقية بعد الترشيح ثم نقوم بوزن ما تبقى من أملاح وتحسب منه الكمية الكلية للمواد المذابة فى النهر من خلال قسمته على وزن عينة الماء ثم ضربه فى (١٠⁶) لنحصل على كمية الأملاح المذابة بالمليجرام فى اللتر كما ذكرنا كيفية حساب تركز الأملاح فى الصفحة السابقة.

(*) يتم الحصول على تصريف المواد المذابة من المعادلة التالية = (التصريف السنوى للماء م٣/ثانية × تركيز الأملاح مليجرام/لتر) / ١٠٠٠

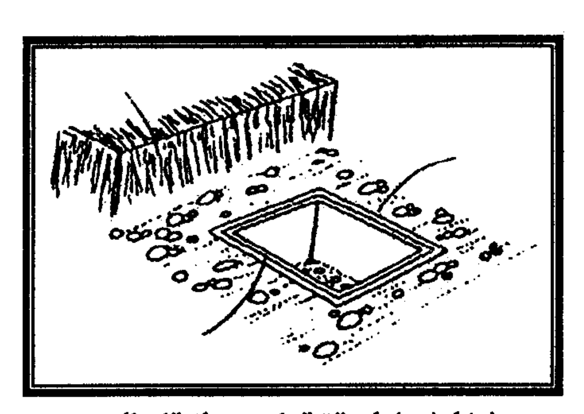
(المرجع السابق ص٢٤٨)

(جـ) قياس حمولة القاع : Bed Load

يشتمل حمولة القاع على أكبر المفتتات الصخرية حجماً بواسطة التدحرج *Rolling* أو الانزلاق *Sliding* على طول قاع النهر وهنا يجب أن نميز بين مقدرة النهر على نقل كمية من الصخور الكلية *Total Mass of Materials* وكفاءة النهر *Competence* التي يمكن الحكم عليها من خلال أكبر كتلة لتيار الماء داخل قناة النهر أن يحركها أمامه (*Newson and Hanwell, 1982, p.147*).

فقد وجد أن الأنهار عملياً يمكنها أن تنقل حمولة من المواد الدقيقة أكبر مما يمكن أن تحمله من المواد تحمله المواد كبيرة الحجم، بمعنى أن النهر مثلاً يمكن أن يحمل عشر حبيبات وزنها الكلى خمسة كيلو جرامات بسهولة أكثر من حملها فى شكل جلمود واحد بنفس الوزن، ويعنى ذلك أيضاً أن كفاءة النهر وقوته على نقل حمولته تتوقف على حالة تفتت حمولته.

ومع صعوبة قياس حمولة القاع فقد قامت محاولات عديدة لقياسها وذلك بواسطة مصايد الرواسب(*)، كما يظهر ذلك من الشكل (٥٢) حيث يسمح للرواسب بالتراكم فى حفر غائرة بقاع النهر أو خلف شبكة سلكية بحيث يمكن انتشالها كل فترة محددة والقيام بوزنها ومعرفة حجمها ومعرفة شكل الحبات. وبطبيعة الحال يتم ذلك عادة فى الأنهار الصغيرة أو القنوات والجداول المائية.



شكل (٥٣) طريقة قياس حمولة قاع النهر

كذلك قد يتم قياس حمولة القاع من خلال ما يتجمع منها أمام السدود أو فى قيعان البحيرات التى تكونت أمام السدود.

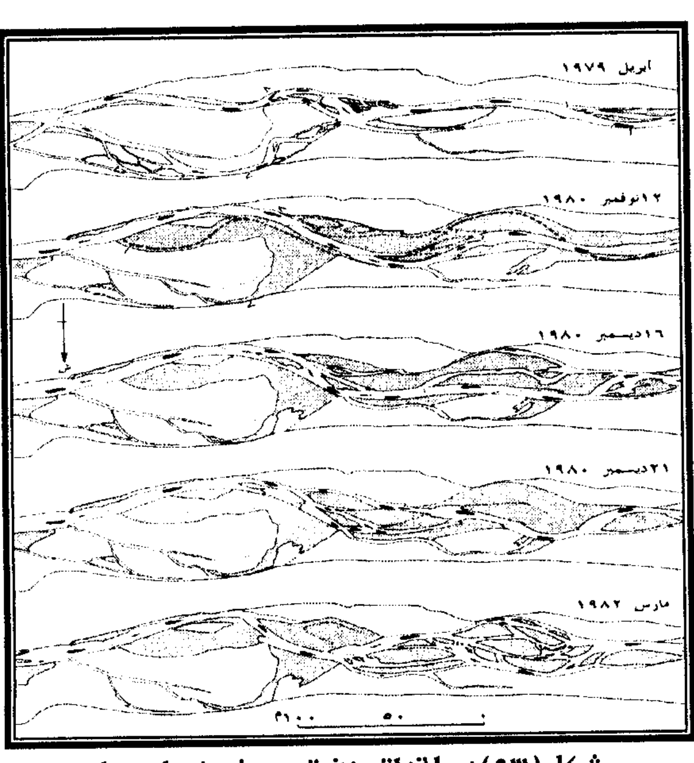
كذلك يمكن تعقب ما يطرأ على الحبات المتحركة على قاع النهر سواء بالقفز *Saltatoin* أو التدحرج بواسطة تلوين لمعرفة ما يطرأ على أحجماها وأشكالها ومعرفة الطريقة التى تتغير بها الحمولة عند نقلها على طول القاع.

(*) تتكون عادة من صناديق من الخشب بقدر اتساع المقطع العرضى للنهر تقريباً بحيث توجد بالقاع وتنتهى حافاتها العلوية بمساواته (مساواة القاع).

(د) بعض القياسات الميدانية الخاصة بالتعرية النهرية :

١) قياس لقطاعات خاصة بقاع المجرى :

ويهـدف عمـل هـذه القطاعات تحديد خصائص قاع المجرى كذلك فإن عمل مجموعة من لقطاعات المنطبعة للقاع كل فترة تعطى قياساً للإرساب السنوى فى قاع المجرى وعادة ما يكون عمل ذه القطاعات المنطبعة مجدياً فى حالة الإرساب التسارع فى مواضع معينة من مجرى النهر أو البحيرات ثلما الحـال فى الجزء الجنوبى من بحيرة السد حيث يتم ترسيب معظم الحمولة العالقة (صابر أمين، راسة ميدانية، بدون تاريخ)، ويتم عمل هذه القطاعات فى مواضع مختارة من قبل الباحث يرى فيها همـية خاصة فى عمليات الترسيب مثلما الحال فى مواضع الجزر داخل المجرى[*] المائى كما يجب عليه خذ الحيطة والالتزام فى الدقة فى تحديد اتجاه ومسار المقطع العرضى حتى يمكن تتبعه فى القياس اللاحق عمـل القطاعـات المنطبعة (*Morricawa, 1985, p.10*)، وعادة ما يستخدم جهاز قياس الأعماق عـدى الصـوت **Echo Sound** فى حالـة النهار العميقة، كذلك يمكن استخدام حبل ينتهى بثقل لـتحديد الأعمـاق وإذا ما كان نهراً ضحلاً يمكن استخدام شاخص خشبى مدرج. ويوضح القطاع لعرضى شكل القناة المائية واختلافها على طول امتداد المجرى ومن ثم تحديد أسباب ذلك.



شكل (٥٣) نمط قناة مضفرة وحدوث تغيرات بها (خلال الفترة من ١٩٧٩-١٩٨٣)

٢) قياس أبعاد الجزر داخل المجرى والقيام بقياسـات خاصـة بالمساحة وتطبيق المعـاملات المورفولوجية المختلفة التى يعـتمد عـلى بيانات وأرقام القياس الميدانى المباشر كما يتم قياس انحدارات السطح وجوانب الجزر ويمكن حساب معامل التشعب **Braiding Index**[*] لقطاع نهرى تمتد خلاله أعداد من الجزر المـتداخلة ويمكن تطبيق ذلك فى قطاع مـن فـرع دمـياط ورشيد وكذلك عـلى طـول مجرى وادى فى أعقاب جـريان سيلى تعرض له شكل (٥٣) الـذى يوضـح نمط قناة مائية مضفرة **Braided Channels** وحودث تغيرات بها خلال الفترة من (١٩٧٩-١٩٨٢).

(*) يفضا أحياناً عمل قطاعات على مسافات منظمة.

(*) معامل التضفر لبرايس *Brice Index (B.I.)* = (مجموع طول الجزر أو الحواجز)٢ / طـول القنـاة

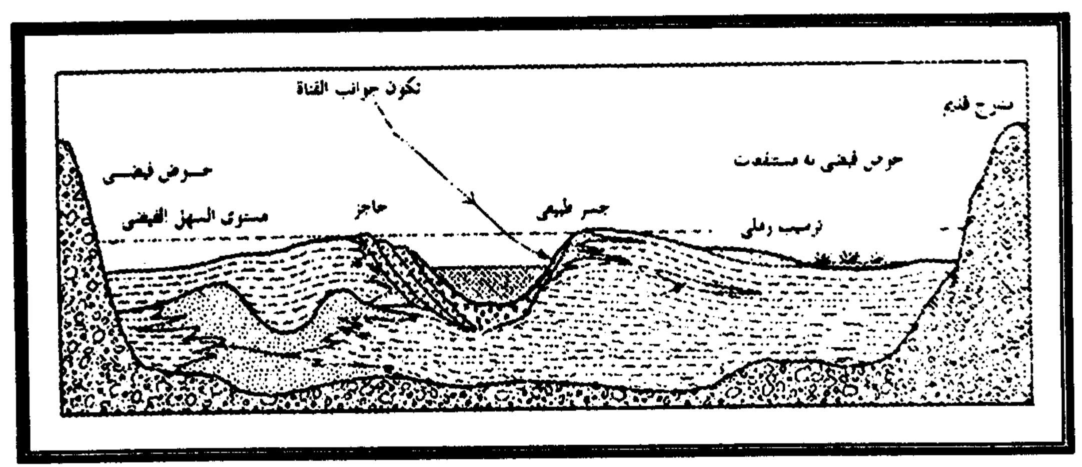
(٣) يمكن تتبع مواضع النحت والترسيب على جوانب الثنيات النهرية وقياس انحدارات الجانبين باتجاه قناة النهر بطرق القياس المعروفة. من المعروف أن نحت جوانب (ضفاف) الأنهار وانهيالها بفعل مياه النهر ميكانيكياً وكيماوية يؤدى إلى تراجع الضفاف وإضافة حمولة لقناة النهر.

وقد قام تمامى ٢٠٠٣، بدراسة لعمليات نحت وانهيال جوانب نهر النيل فيما بين كوم أمبو وقناطر إسنا فى قطاع طوله ١٣٠كم. واعتمدت دراسته على عمل ميدانى تفصيلى للوضع الراهن فى مواقع مختارة وذلك باستخدام الوسائل الحديثة مثل تحليل صور الأقمار الصناعية الرقمية ونظم المعلومات الجغرافية مع دراسة العوامل المتحكمة فى نشاط عمليات التراجع وتحديد أنماط وميكانيكية تراجع الضفاف.

ومن خلال دراسته الميدانية حدد أنواع الانهيالات فى المواضع المختارة مثل الانهيال الكتلى ووجدها ترتبط بالضفاف شديدة الانحدار نحو القناة المائية والانزلاق الدورانى والانهيال الشرائحى الرأسى والانهيال الكهفى والنحت الجانبى، وأوضح العوامل التى تؤدى إلى كل منها معتمداً على الملاحظات والقياسات الميدانية لتلك المواضع (راجع بالتفصيل ممدوح تمامى، ٢٠٠٣).

(٤) يمكن تتبع الجسور الطبيعية على جانبى النهر أو الفروع وتحديد خصائص مكوناتها من الرواسب وانحدارات جوانبها المواجهة للسهل الفيضى والقناة النهرية.

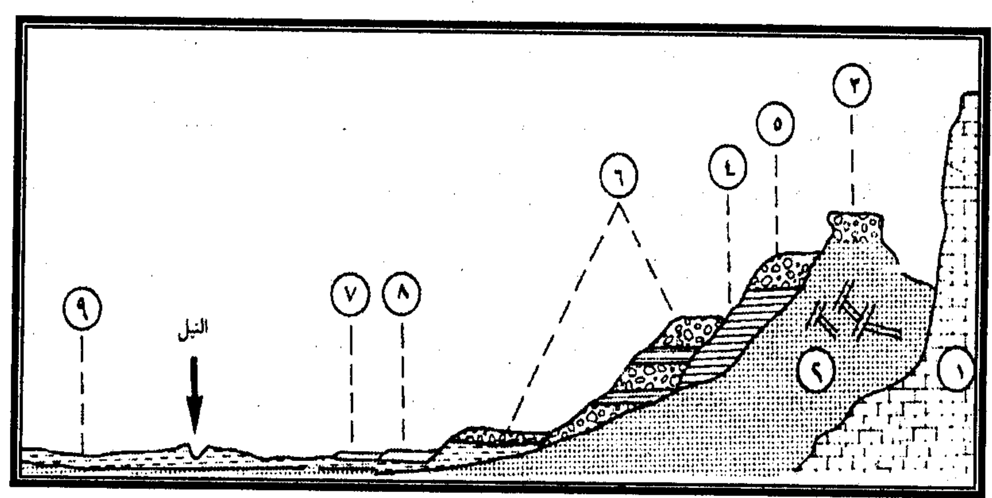
(٥) يوضح الشكل (٥٤) قطاعاً فى سهل فيضى محدب تظهر منه انحدار السهل الفيضى على جانبى القناة النهرية بشكل واضح وعادة ما تتميز السهول الفيضية فى كثير من الأنهار بتحدبها بشكل أو بآخر بدرجات مختلفة.



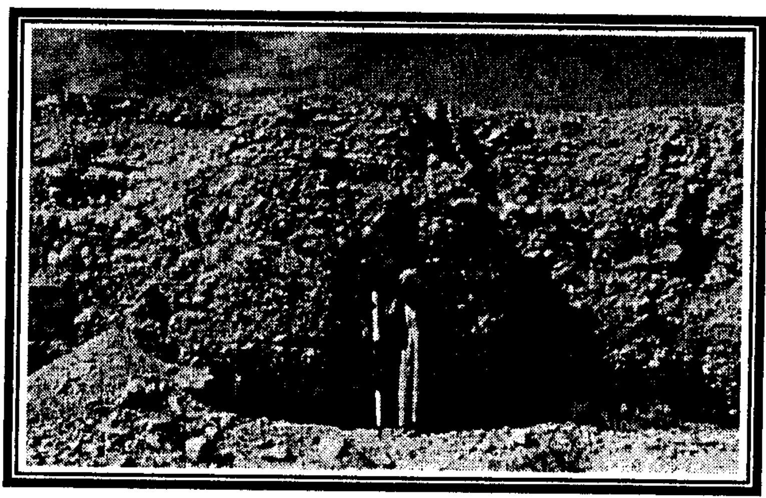
شكل (٥٤) قطاع فى سهل فيضى محدب

يلاحظ من الشكل المذكور الكثير من البيانات والملامح التى يمكن تتبعها فى الميدان بالملاحظة والقياس، يتمثل أهمها فى الجسور الطبيعية وانحدارها بشدة نحو القناة المائية مع انحدار هين نحو السهل الفيضى، مع وجود حوض تنمو به نباتات المستنقعات ربما يكون علامة ثنية سابقة **Meander Scar**.

كمـــا يلاحظ ترسبات رملية مع تكون أحواض فيضية منخفضة فيما وراء الجسور الطبيعية الـــتى عادة ما تعرف بالمياه أثناء الفيضان كما يظهر الشكل (٥٥) المدرجات النيلية القديمة فى مقطع مـــثالى فى نهـــر النـــيل بالصعيد. كما توضح اللوحة (٤٣) الواجهة الجرفية لمدرج ١٥م شرق نجع الكلاحـــين شمال غرب قوص تظهر على امتداده ترسبات سيليه مع طبقة من الطفل، ويمكن فى الميدان تتبع بقايا هذه المدرجات وقياس مناسيبها وربطها مع مدرجات مماثلة فى ارتفاعها وتتابع تكويناتها على جانبى القناة المائية وقياس انحدارات السطح والواجهة ومظاهر تقطعها وتفسير الأسباب التى أدت إلى تشكيلها بالصورة التى تبدو عليها.



شكل (٥٥) المدرجات النيلية القديمة

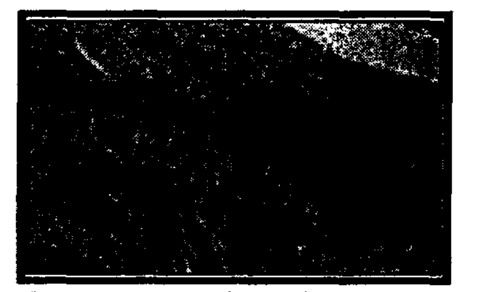


لوحة (٤٣) واجهة جرفية لمدرج ١٥ متر شرق نجع الكلاحين شمال غرب قوص

(هـ) تجارب معملية خاصة بالتعرية النهرية :

(١) تجربة للتعرف على تطور الفروع عند نهاية نهر :

- يحضر حوض خشبي أو من الصاج القوى ويملأ بالرمل.



شكل (٥٦) نموذج لتطور الفروع عند نهاية النهر

- يحد بآلة بسيطة ممر (خط مستقيم) فى الرمل من نقطة بداية تدفق الماء باتجاه الطرف الآخر حيث تتكون بركة مائية، هذا الممر الذى تم تشكيله يمثل نموذجاً لقناة نهرية محفورة فى الرمل دون الوصول إلى القاع (أرض الحوض).
- يلاحظ مع تدفق الماء أن القناة تحمل رمالاً أكثر وأكثر باتجاه البركة Pool التى تنتهى إليها تلك الرواسب مع المياه بحيث تتراكم بها عند مصب القناة فيما يماثل تكون الدلتا.
- يلاحظ أن طبيعة القناة المحفورة بالنموذج سوف تتغير كلما بدأ ظهور ما يماثل الدلتا عند مصبه بالبركة المذكورة شكل (٥٦).

(٢) قياس سرعة النهر معملياً :

- يتم تسوية الرمال بالحوض الخشبي.
- يتم عمل قناة مستقيمة مع ثبات زاوية ميل القاع.
- مع كل مرة يصب فيها الماء يتم توسيع القناة.
- يتم قياس سرعة تدفق الماء باستخدام صبغة ملونة وسوف يلاحظ زيادة سرعة الماء مع زيادة تصرفها من الصنبور.

ولتوضيح سرعة تدفق الماء مع زيادة معدل الانحدار لقاع المجرى :

- يتم تسوية الرمال بالحوض ثم تقطع قناة على طول امتداد الحوض ويمكن بعد ذلك تتبع زيادة سرعة التدفق مع تغير زاوية الانحدار لقاع المجرى.
- يتم ذلك بوضع علامتين إحداهما عند بداية القناة (ممثلة للمنبع) والثانية عند المصب ولتكن العلامتان قلمان رصاص أو ما يشبه ذلك.
- يتم قياس درجة الانحدار (ميل الحوض الممثل كنموذج) ويتم تدوين الدرجات (تسجيلها فى نوتة خاصة).
- يقوم أحد الأشخاص بصب الماء من الإناء مع التأكد بأن صب كمية المياه تكون متساوية فى كل مرة.
- عندما يتدفق الماء باتجاه الطرف الآخر (العلامة ب) يتم تلوينه عن العلامة (أ).
- يمكن لشخص ثالث أن يحدد الوقت المستغرق من وصول الماء الملون من العلامة (أ) إلى العلامة (ب).

- بمجرد تحديد الوقت المستغرق من (أ – ب) يوقف صب الماء فوراً.
- يعاد ما سبق مع زيادة الانحدار (ميل الحوض) بواسطة منقلة وزيادة سرعة جريان الماء.
- يمكن تكرار ما سبق عدة مرات وتسجيلها فى رسم بيانى شكل (٥٧).



شكل (٥٧) نموذج لتتبع قياس سرعة تدفق مياه قناة النهر

(٣) تجربة معملية تؤكد استقرار الجزيئات الصخرية بمعدلات مختلفة حسب أحجامها :

كمـــا نعرف فإن حمولة النهر تترسب على القاع عندما تضعف سرعته وتقل درجة انحداره وكذلك عندما ينتهى به الأمر ليقابل كتلة مائية كبيرة الحجم كبحيرة أو مياه بحرية شاطئية.



شكل (٥٨) نموذج معملى لتأكيد استقرار الجزيئات الصخرية بمعدلات مختلفة حسب أحجامها

وتتم التجربة بالاعتماد على المكونات والعناصر التالية :

- منخل لتصنيف الرواسب حسب الحجم.
- ساعة سباق Stop Watch.
- شاخص أو حامل (ستاند).
- رمل – شوكة – ورق رسم بيانى.

تبدأ التجربة على النحو التالى :

- يوضـــع قدر من الرمال الكوارتزية النقية فى المنخل الهزاز بحيث يتم فصل الرمال حسب أحجامها المختلفة.
- يوضـــع كـــل حجم من الرمال فى كوب ورقى مع الترتيب حسب الحجم الأخشن رقم (١) وهكذا.
- نحضر أنبوب زجاجى شفاف بحيث يمثل نموذجاً لجسم مائى هادئ يمتد منه أنبوب صرف كما يظهر من الشكل (٥٨).

- تصـــب الـــرمال الخشنة من الكوب رقم (١) فى العمود الزجاجى الشفاف مع ضبط لحظة الصـــب، وعندما تصل معظم الحبيبات الرملية إلى القاع يسجل الوقت المستغرق منذ صبها حتى استقرارها فى القاع ويدون بالورق البيانى.
- تعاد التجربة لكل حجم من عينة الرواسب وتسجل فترة ترسبها مثلما فعلنا مع العينة الأولى رقم (١) الممثلة للرمال الخشنة.
- وفى نهايـــة الـــتجربة يمكـــن تسجيل القياسات على الرسم البيانى لتحديد العلاقة بين حجم الرواسب وسرعة التسجيل.
- يمكـــن وضع كمية من رواسب مختلفة الأحجام فى أنبوب زجاجى مملوء بالماء وسنجد تصنيفاً تلقائياً للرواسب بحيث تترسب الأحجام الخشنة تليها إلى أعلى الأقل خشونة ثم الناعمة والأنعم وهكذا. وقد تظهر بشكل واضح إذا ما كانت مصبوغة بألوان تختلف حسب أحجامها.

ويمكن قياساً على التجربة السابقة التطبيق على أحجام متماثلة للرواسب ولكنها ذات كثافة نوعـــية Specific Gravity مختلفة وبديهى سنجد الأثقل وزناً هى الأسرع فى الوصول إلى القاع حتى لـــو كانـــت أقل حجماً، كذلك الحال مع شكل الحبيبة فكلما كانت قريبة من الشكل الكروى تكون أسرع فى الوصول إلى القاع مقرنة بالشكل المفلطح Platy Shape.

(٤) تجربة معملية لفهم كيف يشق النهر مجراه :

- يجهز حوض ضحل مستطيل الشكل بعمق نحو ١٥سم أو أقل.
- يتم ملأه بالرمال لنحو ١٠سم ارتفاعاً وتكون الرمال جافة بينما يبلغ طول الحوض متر واحد وعرضه ٣٠سم.
- يستخدم إناء من البلاستك به فتحة فى القاع (ثقب).
- تترك المياه تتسرب من الفتحة بشكل مباشر باتجاه الرمل عن د الطرف الأيسر من الطاولة.
- يسند الحوض بميل خفيف على الطاولة مع تعلية الرمل أسفل الإناء.
- عندما يتسرب الماء من الإناء (من الثقب الموجود بالقاع) فهو هنا يمثل تدفق الماء فى أعلى المجرى Up Stream.
- ماذا سيحـــدث ؟

فى البداية سوف تمتص (تتشرب) الرمال المياه المتدفقة من الإناء إلى أن يتشبع مسامها تماماً – بعد ذلك ستتكون بركة مائية.

ومع تدفق المياه من الصنبور *Drain Spout* سوف تتشكل مجارى صغيرة على سطح الرمل، ويمكنـــنا أن نبخ *Squirt* قطيرات قليلة من ملون الغذاء أسفل الإناء مباشرة لتتضح معالم المجارى التى تشكلت بشكل أوضح.

الفصل السابع

العمليات والأشكال الساحلية من القياسات والتجارب الميدانية والمعملية

أولاً : قياس الأمواج ميدانياً ومعملياً.

ثانياً : بعض القياسات التى يمكن القيام بها لخط الشاطئ.

ثالثاً: بعض الأشكال الساحلية والملاحظات والقياسات الميدانيا

مقدمة :

تقســـم السواحل بشكل عام إلى نوعين رئيسين؛ النوع الأول ويتمثل فى السواحل الصخرية أو سواحل الجروف Rocky or Cliff Coasts، والنوع الثانى ويتمثل فى سواحل الإرساب المنخفضة.

وتظهـــر الأشـــكال الناتجة عن النحت بفعل العمليات البحرية بشكل واضح فى النوع الأول مـــن الســـواحل، بينما تظهر أشكال عديدة إرسابية على السواحل المنخفضة، وعادة ما تكون الأخيرة نـــتاج غمـــر بحـــرى Marine Submergence، أو قد تكون نتاج انحسار مياه البحر Emergence عـــلى الهوامـــش الســـاحلية، وهاتان العمليتان الأخيرتان ترتبطان أساساً بتغير مستوى سطح البحر، يؤدى إلى حدوث تغيرات عديدة فى شكل الساحل.

والســـواحل باعتـــبارها خـــط التماس بين اليابس والماء، فإنها بدورها تتأثر بعمليات التعرية الـــبحرية المخـــتلفة، بجانـــب عملـــيات التعرية القارية السائدة، ومن ثم فإن ما تتضمنه من خصائص وما تشمله من ملامح هى فى واقع الأمر نتاج عمليات تعرية مركبة ومتداخلة.

وبشـــكل عام فإن عمليات النحت على طول الشاطئ عادة ما تقوى أثناء هبوب العواصف البحرية القوية أو أثناء حدوث غمر بحرى عاصفى (جشنات) Sea Surges. فتطور الجروف الساحلية ترتـــبط أساســـاً بعمليات التقويض السفلى الذى تقوم به الأمواج بفعل الضغط الهيدروليكى والنحت المـــائى لقواعـــد الجروف، وكذلك بفعل عمليات الانهيارات الأرضية، حيث أن البحر فى حد ذاته لا يســـتطيع أن يســـبب تـــراجعاً سريعاً للساحل إذا لم تتضافر معه العمليات الأرضية من تجوية بأنواعها المختلفة وانهيارات أرضية (محمد صبرى محسوب، ١٩٩١، ص ١٠٣).

وعادة ما تسود العمليات السابقة معظم سواحل الجروف وإن كانت تؤدى أدوارها بدرجات مختلفة وذلك وفقاً لفعالـــية كل منها والتى تختلف من منطقة ساحلية إلى أخرى، وكذلك تبعاً لخصائص الصـــخور المكونـــة لـــلجروف وكذلك ظروف المناخ السائدة، ومن ثم تظهر تباينات عديدة بسبب التعقـــيدات الـــناتجة عن الاختلافات الليثولوجية والبنيوية ودرجة التعرض للأمواج المدمرة والعمليات المرتبطة بحركة المياه فى نطاق الشاطئ القريب وكلها يجب أن تكون دائماً مأخوذة فى الحساب من قبل الدارس الميدانى للمناطق الساحلية والتى يكون على وعى تام بها مدعوماً بما لدية من خرائط جيولوجية تفصيلية وصور جوية وبيانات مناخية وغيرها.

وباختصـــار تتمثل العمليات البحرية فى الاحتجاز الموجى *Wave Quarrying* والحت المائى والـــتجوية المائـــية والإذابة والنحت البيولوجى وغيرها وكلها تنتج عنها أشكال ساحلية وملامح مميزة يجب عند دراستها جيومورفولوجياً أن ندرس جيداً ونتفهم العمليات السائدة منها والخصائص والملامح الـــناتجة عـــن النحـــت والـــتى يهـــدف الجيومورفولوجى إلى دراسة نشأتها وتطورها وتحديد أبعادها المورفومـــترية وربطهـــا بالعمليات التى أوجدتها وكذلك الأشكال الإرسابية *Depositional Features* المتعددة وتلك التى ترتبط بتغير مستوى سطح البحر ومنها السبخات الساحلية والمناقع والأهوار.

ومع توفر وسائل التحليل والقياس من الصور الجوية والمرئيات الفضائية فإن للعمل الميداني والتجارب المعملية أدوارها الهامة في تفهم مثل هذه الخصائص وكيفية اكتسابها وكذلك التفهم الكامل للملامح الجيومورفولوجية الساحلية وكيفية نشأتها وتطور أبعادها وتفهم مدى ارتباطها بعمليات ساحليه معينة خاصة تلك الملامح الدقيقة Micro Features مثل المسننات Cuspes والبرك وفجوات التجوية وحفر النحت البيولوجي بالأسطح المدية Tidal Flats وغيرها من تلك الملامح التي يصعب تتبعها وتحديدها من الخرائط والصور الجوية والفضائية. حيث أن أحجامها الدقيقة تحتاج متابعة وقياس ميداني خاصة وأن الكثير منها سريع التغير لدرجة أنه قد يختفي في أعقاب عاصفة بحرية أو مد استثنائي Exceptional High Tide أو تتغير أبعاده على أقل تقدير.

وتفيد الدراسات الميدانية في تتبع وملاحظة وقياس الكثير من العمليات السائدة في النطاق الساحلي مثل تولد الأمواج Wave Generation والتغيرات التي تحدث لها مع انتقالها في المياه الضحلة في متاخمة خط الشاطئ، وكذلك قياس سرعة انتشارها والتغيرات التي تطرأ عليها مع اقترابها من الشاطئ والذي تنعكس خصائصه من حيث أحجام رواسبه وانحداره على طبيعة هذه التغيرات التي تطرأ على الأمواج القادمة إليه. كما يجب دراسة وتتبع تأثيرها هذه الأمواج في منطقة الشاطئ الأمامي Fore Shore وكذلك في تحديد سرعة التيارات الشاطئية Littoral Currents وتتبع حركة الرواسب على طول امتداد الشاطئ والتيارات المرتدة (الشقية) Rip Currents وغير ذلك من ديناميكيات سائدة.

كذلك فإن الدراسة الميدانية كما ذكرنا ذات أهمية كبرى في دراسة الخصائص الجيومورفولوجية للساحل من حيث التكوينات السطحية ودرجة الانحدار ومعدل التعرج وذلك من خلال اخذ عينات من رواسبه بالطرق المعروفة وعمل قطاعات الشاطئ وتتبع التغيرات التي تعرض لها ودراسة خصائص قاع الشاطئ القريب Near Shore وتحلل رواسبه مع دراسة أهم الأشكال والملامح المرتبطة به مثل الحافات الغارقة والأخاديد والقنوات المدية وغيرها الكثير(*). وكذلك الأشكال المرتبطة بسواحل الإرساب وهي عديدة ومعروفة.

وفي سواحل الجروف تتركز الدراسة الميدانية على قياس ارتفاع الجرف وانحداره تجاه البحر وتحديد وضع الطبقات في حالة الصخور الرسوبية ودراسة وقياس انحدار أسطح الأرصفة الممتدة أمام أقدامها باتجاه البحر واتساعها مع دراسة خصائص السطح وقياس أبعاد الملامح الجيومورفولوجيه المرتبطة بأوجه الجرف وأسطح الأرصفة الشاطئية مثل الكهوف والأعمدة الصخرية والمسلات والمتاريس والأقواس البحرية والحفر الوعائية إن وجدت وغير ذلك من ملامح تميز بها تلك الأنواع من السواحل وتسجيل القياسات في دفتر الميدان ليتم تحليلها مكتبياً بعد ذلك باستخدام الأساليب الإحصائية المتقدمة وتطبيق البرامج الحديثة في الحاسب الآلي وتمثيلها كارتوجرافياً

(*) تحتاج لفريق عمل ومسح للقاع [illegible] قياس أعماقه بواسطة أجهزة متقدمة.

ولاشـــك أن التصـــوير الفوتوغرافى لـــه أهميته الكبيرة مع الأخذ فى الاعتبار الالتزام بطرق التصـــوير السليمة مثل توقيت التصوير وتحديد دقيق للملامح والأشكال التى يتم تصويرها من حيث مواضـــعها بواســـطة جهاز G.P.S وخصائصها وأبعادها بحيث يمكن عند العودة إليها بعد فترة زمنية محددة وملائمة تحديد طبيعة ودرجة التغيرات التى تعرضت لها.

كذلـــك يجـــب متابعة كيفية قيام العمليات البحرية بأدوارها فى التشكيل خاصة فيما يتعلق بالعملـــيات الـــتى تقوم بها الأمواج والتيارات الشاطئية وغيرها، إلى جانب تتبع دور العمليات القارية وحيث ديناميكيتها وضوابطها المختلفة.

أولاً : قياسات الأمواج ميدانياً ومعملياً :

توجـــد ثلاثـــة أنـــواع مـــن القياســـات الخاصـــة بالأمواج تتمثل فى قياس ارتفاع الأمواج وفتراتها Wave Periods واتجاهاتهـــا، ويمكـــن القياس المباشر للأمواج فى منطقة التكسر Surf Zone، مع قياس أو تقدير ارتفاع الأمواج فى المياه العميقة قبل تغير خصائصها واتجاهاتها فى المياه الضحلة المتاخمة لخط الشاطئ.

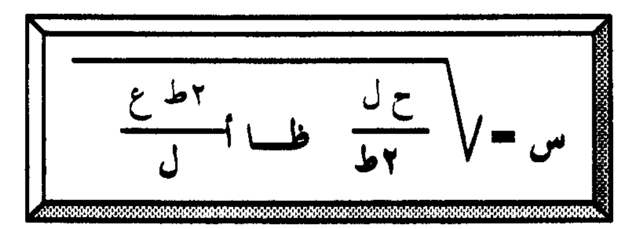
(أ) بالنسبة لقياس الأمواج فى منطقة التكسر :

فـــإن مـــا يـــتعلق بارتفـــاع الموجة وفترتها فإن أبسط وأرخص طرق ووسائل القياس تتمثل فى الملاحظات المرئية Visual Observation، فقد قام Ingle, 1960 بقياس ارتفاع الأمواج من خلال تثبيت شاخص مدرج فى منطقة التكسر أو عن طريق تثبيته فى الماء الثابت (المستقر).

ويمكن استخدام التيودوليت بوضعه على مسافة من الشاطئ فوق عوامة بحيث تتحرك الأخيرة مع الأمواج ويتم قياس الزوايا الرأسية مع تتابع قدوم قمم الأمواج وأحواضها Waves Crests and Basins، وذلـــك باستخدام شاخص مدرج على مسافة من التيودوليت، ومع قياس سلسلة من ارتفاعات الأمواج فى تحـــركها مـــن المـــياه العمـــيقة باتجـــاه المـــياه الضحلة يمكن الحصول على متوسط ارتفاع قطار الأمواج Waves Spectrum، كذلـــك يمكن استخدام مقياس ضغط الأمواج لتسجيل الارتفاعات بشكل متواصل Wave Gauge Pressure (king, C., A., M., 1978, p.141).

أما فترة الموجة فيمكن قياسها بملاحظة عدد من الأمواج التى تمر على نقطة ثابتة Fixed Point فى فترات زمنية محددة باستخدام الساعة الرياضية.

ويمكن الحصول على سرعة انتشار شكل الموجة من خلال تطبيق المعادلة التالية :



حيث أن :

س = سرعة الموجة بالقدم.

ع = عمق الماء بالقدم.

ط = $\frac{٢٢}{٧}$ أو (٣,١٤١٩٥٢٦).

ج = ثابت الجاذبية (قدم/ثانية).

ل = طول الموجة بالقدم.

أ = ارتفاع الموجة بالقدم(*).

كذلك يمكن التعبير عن سرعة انتشار الأمواج من الشكل أو العلاقة التالية :

$$C = L / T \qquad س = ل / ف$$

(Derbyshire, et al, 1979, p.109)

حيث أن (ل)= تقريباً ١,٥٦ قدم/مربع فترة الموجة فى الثانية، وذلك فى حالة ما إذا كانت (ل) تقاس بالمتر، كما أنها تساوى ٥,١٢ مربع فترة الموجة إذا ما كانت مقاسه بالقدم.

مثال على ذلك:

إذا كانت فترة موجة فى مياه عميقة = ١٠ثانية وطولها ١٥٦متراً فتكون سرعتها التقريبية ٥٦كيلومتر فى الساعة، ويمكن الحصول على طول الموجة (ل) من ضرب الثابت ١,٥٦× مربع الفترة وهو فى هذا المثال = ١٠٠متر.

أما السرعة فهى حاصل قسمة طول الموجة (١٥٦متراً) + (١٠ثانية) وهى الفترة، فتمون السرعة بذلك ١٥,٦متر فى الثانية أو نحو ٥٦,١٦ كيلومتر فى الساعة.

وجدير بالذكر هنا أن أطول فترة موجة سجلت، بلغت ٢٢,٥ ثانية بسرعة انتشار أكبر من ٧٥ كيلو متر فى الساعة وهى من نمط الأمواج المحيطية القبابية Swell.

(*) يمكن الحصول على معدل ارتفاع الأمواج من خلال تحديد أعلى ٣٠٪ من عدد الأمواج القادمة خلال مدة قياس تبلغ نحو ٢٠ دقيقة.

(ب) طاقة الموجة : Wave Energy

يمكن الحصول على معدل تحرك طاقة الموجة أو تحرك قطار الأمواج بالمياه العميقة من المعادلة التالية :

$$Cg = \frac{1}{2} C = \frac{1}{2} \left(\frac{g}{2\pi} T \right)$$

حيث أن :

Cg = معدل تحرك طاقة الموجة.

π = ط نق $\frac{٢٢}{٧}$.

T = فترة الموجة.

(Ibid, p.112).

وتوحد أجهزة عديدة خاصة بقياس الأمواج والتذبذبات فى مستوى سطح الماء وفى المياه الضحلة واضح من السهل قياس أبعاد الأمواج بواسطة القياس من القوارب أو بواسطة مثبتة على الشاطئ.

(ج) اتجاه الأمواج : Waves Direction

أبسط طريقة لقياس اتجاهات موجة قادمة يتمثل فى تحديد اتجاه قمتها باستخدام البوصلة، وهناك أجهزة أوتوماتيكية لتسجيل اتجاهات الأمواج، ويمكن فى الميدان تثبيت ثلاثة أجهزة أو أكثر على طول امتداد الموجة.

وقد استخدم Cote, 1960 وسائل تصوير فوتوجراميترية لتسجيل الخصائص المرتبطة بالأمواج فى سطح بحرى صغير المساحة وذلك باستخدام طائرة شراعية Air Craft منخفضة تغطى مساحة ٨١٣ × ٥٤٠متراً، ويمكن من خلال التصوير تحديد اتجاهات الأمواج القامة. وفى المياه المعمية توجد أجهزة التسجيل سرعات الأمواج توضع فوق عوامات Buoys ويمكنها قياس زوايا قدومها وقياس الطاقة الكلية للأمواج والاتجاه الرئيسى لانتشار طاقة الأمواج.

ويوجد مقياس ابتكره Naso, 1956 يقوم بقياس السرعات المدارية Orbital Velocities للأمواج وذلك من خلال قياس السرعات الأفقية والرأسية عند نقط يتم اختيارها، ويتم القياس بوضع المقياس على ارتفاع ٢٥سم فوق القاع متاخماً لمنطقة تكسر الأمواج عند أعماق تتراوح ما بين ١,٥٢ و ٤,٦ متر.

(د) تحديد العمق الذى تتكسر عنده الأمواج :

يتم تحديده من خلال العلاقة التالية :

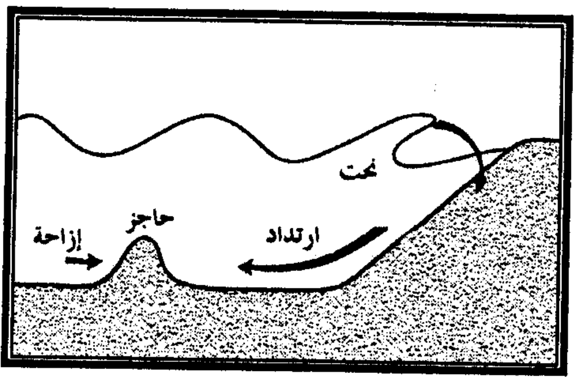
$$Hb = 0.78\ d$$

حيث أن :

(Hb) يمثل ارتفاع الموجة المنكسرة Breaker.

(d) عمق المنطقة الشاطئية.

وبشكل عام فإن الأمواج القصيرة تتكسر عندما تصل نسبة ارتفاعها إلى طولها Height to Length إلى (٠,١٤٣)، وإذا ما كانت الأمواج لا تتأثر بقاع البحر عند أعماق تزيد على طولها فإنها عندما تقترب من مياه أقل عمقاً، فإن طولها وسرعتها يعكسان صورة القاع بشكل واضح على شكل الموجة، حيث يؤدى إلى انحـــراف قمم الأمواج مع اقترابها من المياه الضحلة أمام الشاطئ بحيث تظهر أمام خط الشاطئ متوازية مع بعضها البعض، وتبدو هذه الظاهرة بوضوح مع الأمواج التى تتميز بأطوالها الكبيرة.



شكل (٥٩) زيادة فعالية النحت مع قدوم أمواج عاصفة

وقد أظهرت التجارب بأن حركة هذا النمط مـــن الأمواج ينتج عن دفع إلى الأمام باتجاه الشاطئ عـــلى طول قاع البحر، يزداد عندما تصل الموجة إلى نقطـــة التكســـر، وبســـبب ذلك يتحرك الرمل تجاه الشاطئ، ولذلك تعد هذه الأمواج من الأنواع البانية Constructive Waves عـــلى العكس من الأمواج القصيرة التى تصل إلى المياه الضحلة منحدرة Steep، يساعدها ويقويها هبوب رياح شاطئية قوية، مما يؤدى إلى زيادة قدرتها على النحت والتدمير من خلال خلـــق تيار متجه نحو البحر على طول القاع، يندفع بقوة تثير المياه والرواسب الشاطئية، يطلق عليه التيار الشقى أو التيار المازق Rip Current ويوضح الشكل (٥٩) زيادة فعالية النحت أثناء هجوم أمـــواج العواصـــف وارتداد المياه بقوة تجاه البحر وتولد تيارات شقية مازقة تتقابل مع موجة تالية مما يؤدى إلى تكون حاجز مغمور يعرف بحاجز نقطة التكسر Break Point Bar، يطلق عليه التيار المازق أو التيار الشقى Rip Current.

(هـ) صهريج الأمواج وبعض التجارب على خصائص وفعل الأمواج :

يعـد كـل مـن *Frentz Gerstner* وإيرست من الرواد الألمان فى عمل تجارب وقياسات خاصة بالأمواج وما يرتبط بتجارب صهريج الأمواج *Wave Tank* والذى ابتكره ويبلغ طوله خمسة أقدام وجوانبه زجاجيـة توجـد على إحداها أنبوب مثبت بطريقة يمكن من خلالها توليد أمواج اصطناعية بالصهريج وقد استعملا فى تجاربهما الماء والزنبق، ومن نتائج هذه التجارب أن الموجة المرتدة *Reflection Wave* لا تفقد أى جـزء مـن طاقـتها كما أكدت التجارب على وجود الحركة المدارية لجزيئات الماء مع انكماش المدارات واتجاهها للسطح مع زيادة العمق.

وفى القـرن العشـرين بـدأت تتعدد التجارب والدراسات لتصنيف تقدماً كبيراً فى مجال الإلمام بخصـائص الأمواج وقد تبلورت هذه الأعمال خلال فترة الحرب العالمية الثانية وذلك مع تطور العمليات البرمائية *Amphibious Operations* وبدأت دراسة الأمواج تدخل مرحلة جديدة خاصة بعد تطور الأجهزة العملية الخاصة بقياس أبعاد الأمواج بحيث أصبح من السهل قياس الأمواج وسط المحيط من السفن بواسطة مسجل الأمواج كما تطورت وسائل قياس الأمواج فى المياه الضحلة قرب الشاطئ كما رأينا.

ومـن التجارب المستخدمة فى صهريج الأمواج ما يرتبط بانحراف الأمواج واقتراب خطوط قممها بميل وموازاتها لبعضها فى محاذاة خط الشاطئ وذلك لاحتكاك قيعانها بحافة غاطسة أمام الشاطئ.

وتتمثل التجربة فى وضع لوح زجاجى منشورى الشكل بسمك مناسب فى صهريج الأمواج بحيث يكون عمق الماء فوقه ضحل جداً (ممثلاً للحافة الغاطسة) بالنسبة لبقية الأعماق بالصهريج وهنا سـوف تظهـر الأمواج فى الجزء الضحل ذات أطوال أقصر، وحيث أن فترات الأمواج ثابتة وذلك لكـون مولـد الأمواج يعمل بنفس المعدل فإن سرعة الأمواج فى الماء الضحل ستكون بالطبع أقل. حيـث تصـطدم الأمواج بحافة المنشور الزجاجى بانحراف واضح وهذا ما يعنى حدوث تغير فى اتجاه الأمـواج عند مرورها بالجزء الضحل، وما تؤكده التجربة هو أن الاتجاه الذى تتحرك عنده الأمواج يـنحنى عندما تدخل مجالاً تنقص فيه سرعتها، وكلما زاد التغير فى السرعة زاد انحرافها وهذا ما يمكن أن يحدث أمام الشواطئ حيث أن طوبوغرافية القاع أمامها وامتداد النتوءات اليابسة وتوغل الخلجان كلما تعمل على انحراف الأمواج(*) (Jardine, p.6).

(*) كذلك قد يحدث انحراف للموجة إذا ما هبت رياح محلية بزاوية على شاطئ مستقيم مما يؤدى إلى اقترابها من الشاطئ بصور منحرفة.

(و) رصد منسوب سطح البحر :

يـــتم ذلك ميدانياً من خلال تثبيت قامة رأسية مدرجة فوق قاع البحر – فى الشاطئ القريب الضحل – وذلـــك عـــند نقطة أقل من منسوب الماء، ويمكن تثبيتها على جانب أحد الأرصفة البحرية بشرط أن يكون صفر التدريج أخفض من منسوب سطح البحر.

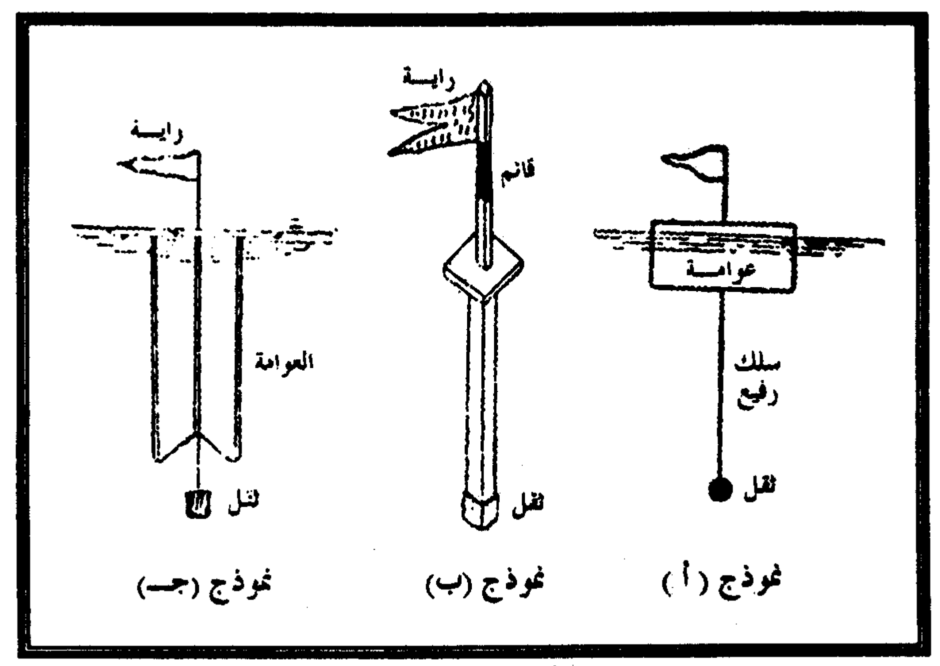
ويتم كذلك عن طريق جهاز يتمثل فى عوامة تتحرك داخل أنبوب رأسى به فتحة عند الطرف السفلى وذلك لامكانية دخول المياه وخروجها من الأنبوب تبعاً لارتفاع وانخفاض مستوى سطح البحر.

ويـــؤدى دخول المياه الأنبوب إلى حدوث تحرك رأسى للعوامة ويتم تثبيت قائم رأسى أعلى العوامة ينتهى بمؤشر يتحرك أمام قامة رأسية مدرجة ومثبتة بحيث يتحرك المؤشر ليسجل القراءة الخاصة بمنسوب ماء البحر (إبراهيم عبيدو، ١٩٨٧، ص٣٩).

(ز) قياس التيارات البحرية :

يقصد بها هنا التيارات الشاطئية أو تيارات الشاطئ الضحل القريب *Littoral Current* وتتعدد أنواعها فمنها تيار الإزاحة على طول الشاطئ *Longshore Current* والتيارات المدية.

وبشـــكل عـــام يمكن قياس اتجاه سرعة التيارات فى منطقة الشاطئ القريب من خلال تحديد اتجاهات وذلك بواسطة متابعة عوامة تتحرك مع تحرك التيار ويتم رصد مكانها على فترات زمنية محددة باســـتخدام التيودوليـــت أو باستخدام أجهزة قياس التيار **Current Meter** ومنها ما يسجل السرعة والاتجاه فى نفس الوقت (عبيدو، المرجع السابق، ص٥١).



شكل (٦٠) أنواع من العوامات يعلوها راية
يتدلى منها سلك ينتهى بثقل لحفظ توازنها

ويوضح الشكل (٦٠ أ) عوامة تعلوها راية ملونة يسهل رويتها يتدلى منها سلك رفيع ينتهى بثقل لحفظ توازن العوامة والتى يجب أن تكون صغيرة الحجم ما أمكن حتى نستطيع تخفيض قوة مقاومة الرياح لها أثناء تحركها.

والشكل (٦٠ ب) يمثل نوعاً من العوامات عبارة عن منشور خشبى يناسب طوله مع عمق الماء ينتهى أسفله بثقل لحفظ توازنه مع تثبيت راية أعلاه.

والشكل (٦٠ جـ) يتكون من قامتين خشبيتين بطول متناسب مع عمق المياه تنتهى فى أعلاها بقطعة من الخشب مربعة الشكل طول ضلعها ٢٥سم تعلوها راية ويتدلى منها ثقل.

أما عن قياس التيار وهو صالح للقياس فى الأنهار مثلما هو صالح فى قياس التيارات الشاطئية فإن الجهاز به مروحة (رفاص) يتحرك فى علاقة طردية مع حركة التيار وكل دورة كاملة له يقطع دائرة كهربية يشحن أو يشغل بواسطة بطارية ويتم تسجيل عدد دورات الرفاص خلال فترة زمنية محددة ثم بعد ذلك يتم إدخال عدد الدورات وعدد الثوانى الزمنية فى جدول خاص ويقرأ مباشرة سرعة التيار بالقدم فى الثانية وعادة ما يوضع الجهاز أو على عمق معين سواء فى النهر أو فى مياه الشاطئ القريب (لوناب ليبولد، مترجم، ١٩٧٧، ص٥٦).

(ح) قياس حركتى العجيج swash والخضربة Backwash :

يقصد بالعجيج تقدم المياه الناتجة عن تكسر الأمواج باندفاع نحو الشاطئ الأمامى وكثيراً ما يتعرض جزء كبير من ماء العجيج للضياع بالتخلل Percolation فى رواسب الشاطئ خاصى إذا ما كانت مكونه من حبيبات خشنة نسبياً إلى جانب حمل مياه العجيج لكميات من الرمال باتجاه الشاطئ عادة ما ينتج عنها مسطح رملى منخفض Low Berm ينعكس ذلك على ضعف عملية الارتداد الخلفى للمياه أو ما يعرف بالخضربة Backwash ومن ثم لا تنقل معها تجاه البحر سوى كميات محدودة من الرواسب.

وفى حالة وجود شاطئ أمامى شديد الانحدار نسبياً نحو البحر يحدث عادة تكسر لأمواج غاطسة عنيفة مع شدة انحناء مقدماتها وسرعة فائقة فى معدلات ترددها وعندما تنكسر Plunging Breakers فإنها تركز طاقتها فى مساحة محددة من الشاطئ ومن ثم ينتج عن تكسرها ارتداد موجى عنيف Violent Backwash محملاً بكميات كبيرة من الرواسب التى ينتج عنها تشكيل حاجز تكسر Breaking Point Bar واضح المعالم تاركة واجهة الشاطئ منحدرة بشكل واضح مع تقعرها عند أسفلها بالاتجاه نحو حاجز التكسر(*) راجع الشكل (٥٩).

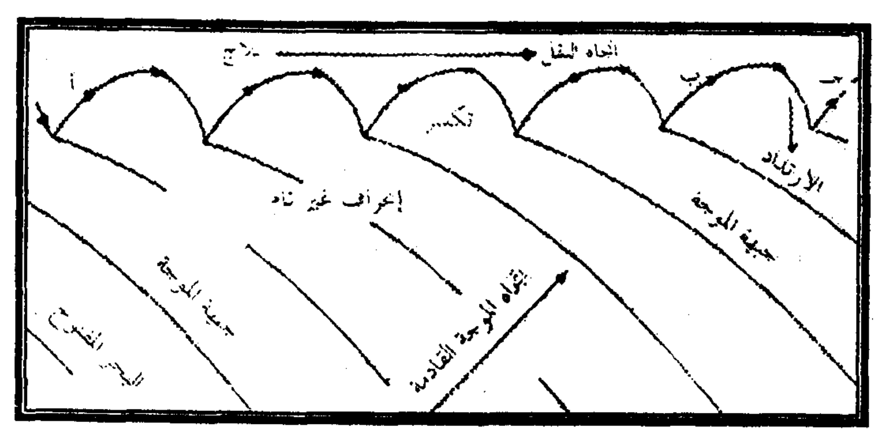
(*) يمكن تطبيق العلاقة التالية لـ Galvin لتحديد نمط موجة التكسر وهى على النحو التالى :

B = طول الموجة Y = ارتفاع الموجة H= درجة انحدار الشاطئ $H / Tan_2 B$

فإذا ما كان ناتج المعادلة أكبر من ٤,٨ تكون موجة تكسر بانية، وإذا تراوح بين ٠.٩ و ٤,٨ تكون موجة تكسر مدمرة Destructive Breaker.

فـــيلاحظ مـــن الشـــكل الســـابق (٥٩) زيادة فعالية النحت أثناء الأمواج العاصفة، حيث تقوم الأمواج بنحت الكثبان الساحلية إلى أن يتكون الحاجز مع حركة المواد مع الارتداد الموجى Backwash مع حمايته للبلاج من زيادة فعالية النحت ومع فترات الهدوء يعاد ترسيب رمال الحاجز Bar ببطء على البلاج.

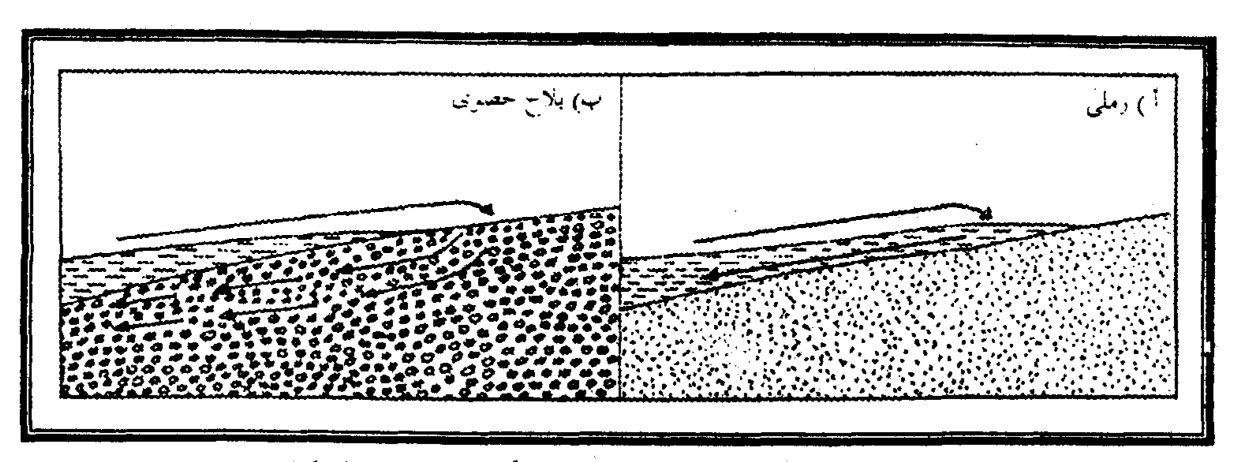
ومـــن الشكل (٦١) يلاحظ أنه عند اقتراب الأمواج بانحراف من خط الشاطئ اندفاع مائى مائل لكـــل موجـــه Inclined Up Rush، يؤدى بدوره إلى نقل الجزيئات (المفتتات) بشكل مائل فوق البلاج، وتعمل حركة الارتداد الخلفى للأمواج على إعاقتها بشكل مباشر تقريباً نحو أدنى منسوب للبلاج.



شكل (٦١) انحراف الأمواج مع اقترابها من الشاطئ

حيـــث تعمل حركة العجيج (تقدم الأمواج) Swash للموجة التالية على الإمساك بالمفتتات وحمـــلها إلى الـــبلاج ثانـــية. وتبدو حركة الجزيئات بالشكل السابق من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) ومن الأخيرة (جـــ) وهكذا، مع الأخذ فى الاعتبار تعقد عملية النقل أكبر بكثير مما يوضحه الشكل.

ويوضح الشكل التالى (٦٢) سلوك الخضربة (تقدم وتراجع المياه الموجية على البلاج) حيث نلاحظ منه ما يلى :



شكل (٦٢) سلوك الخضربة (تقدم وتراجع الأمواج على البلاج الرملى)

- تندفع المياه فوق الشاطئ (العجيج) Swash، هذه الحركة تتأثر بالاحتكاك برمال الشاطئ إلى أن تتلاشى طاقتها.
- تعمل الجاذبية Gravity على سحب المياه باتجاه البحر فيما يعرف بالارتداد الخلفى للأمواج Backwash، والتى تكون أكثر وضوحاً فى البلاج الرملى مقارنة بالبلاج الحصوى، حيث أنه فى الأخير تتخلل المياه التكوينات الحصوية بصورة أسرع وتتراجع تجاه البحر تحت السطح.
- من وجهة النظر الجيومورفولوجية فإن الأمواج البانية تلقى برواسبها فوق البلاج مع تقدم المياه فوقه، وذلك بكمية أكبر مما تقوم به عملية الارتداد من خلال سحبه للرواسب تجاه البحر. وهذا الأمر يتم بشكل أوضح عندما تزداد فترات تردد الأمواج، وعادة ما يلعب انحدار البلاج دوره فى التأثير على فعالية عملية الخضربة، حيث يكون الارتداد أكثر تأثيراً من التقدم فى حالة البلاجات المنحدرة، ومن ثم على الدارس الميدانى ملاحظة كل هذه الخصائص والربط بين المتغيرات التى يمكن قياسها فى الميدان.

والواقع أن هناك وسائل عديدة لقياس سرعات العجيج Swash والخضربة (الارتداد الموجى) وكذلك لقياس الطاقة المولدة تتراوح ما بين وسائل بسيطة نسبياً ومعقدة.

فقد قام Zeigler and Miller, 1958 بوضع عوامات Floats على مسافات محددة للحصول على سرعات العجيج والخضربة.

كذلك قام كل من Ferm and Dolam, 1966 بوضع علامات أرضية ف منطقة التكسر Surf Zone وهى المنطقة التى تلى نقطة حدوث التكسر Breaking الفعلى للأمواج باتجاه الشاطئ واستخداما مسجلاً للسرعات لقياس سرعة تقدم الأمواج (العجيج). كما قام Shiffman وRirk, 1973 بتطوير جهازين لقياس الطاقة لحركتى العجيج والخضربة.

وقد قام Wright, 1976 باستخدام التكنيك الفوتوغرافى لقياس سرعات التقدم والارتداد الموجى وذلك باستخدام كاميرا بفتحة ٢٥ مللم وأفلام أبيض وأسود وثلاثة شواخص نحاسية بقطر ٣,١٨ مللم مدرجة بالسيمترات وملونة أسود وأبيض ومثبتة على الشاطئ على مسافات معروفة ومتتابعة، ويتم التقاط الصور مع وجود نسبة أخطاء حول ٥٪ وذلك بسبب التأثير بفعل الرياح، أما اتجاه التقدم فعادة ما يتم تحديده بتعقب أثر الرغاوى داخل إطار الصور التى تم التقاطها.

إلى جانب ما سبق توجد وسائل أخرى بالغة التعقيد وباهظة التكاليف ولكن الطرق السابقة يسهل تطبيقها من قبل أى باحث مع الالتزام بالدقة الكافية بقدر الإمكان.

(ط) حركة الرمال فى الشاطئ الأمامى :

من المهم قياس العمق الذى يمكن للأمواج أن تثير رمال القاع عندما تمر عليها.

وقد أمكن معرفة ذلك من خلال تجارب تمت فى بلاجات رملية مدية حيث يمكن تثبيت شاخصان (أوتاد) Pags فى المنطقة الضحلة المكشوفة أثناء الجزر كعلامات استرشادية بحيث تكون المسافات معروفة بينهما ثم يتم حفر حُفر فى القاع الرملى ويتم ملؤها بالرمال الملونة المميزة عن رمال الشاطئ ويتم تسويتها بعد ارتفاع مياه المد وتعاقب الجزر ثانية يتم قياس التغير فى مستوى الرمل على الوتدين ومن ثم يمكن تبين ما حدث من اضطراب للقاع مهما كان التغير محدود حيث أن موضع الرمال الملونة محدد من خلال الوتدين ويظل استمرار المتابعة حتى تنتهى الرمال الملونة عند المستوى الذى تعرض للإثارة بفعل احتكاك الأمواج.

وقد أظهرت الدراسات والتجارب أن هناك علاقة خطية بين عمق الإثارة (اضطراب الرواسب) وارتفاع الموجة فى مناطق كثيرة.

(ى) التغيرات فى قطاع الشاطئ وعلاقتها بالأمواج :

يمكن متابعة التغيرات التى تطرأ على قطاع معين من الشاطئ تحت ظروف تتغير فيها خصائص الأمواج فى احجامها وابعادة وذلك من خلال القياسات ميدانية فى فترات مختلفة، فعندما تهاجم الشاطئ أمواج قوية عاصفة فإنها تؤدى إلى إزالة تكويناته الشائبة واكتساحها باتجاه البحر، بينما تسود عملية الترسيب أثناء فترة هدوء الأمواج، ويمكن القول هنا بأن تحدر الموجة Steepness of Wave يعد من العوامل الرئيسية فى تحديد طبيعة مهاجمة الأمواج للشاطئ والتى بدورها يمكن تقسيمها إلى أمواج بانية Constructive وأخرى مدمرة Destructive ويزداد تأثير النوع الأخير عندما تهب رياح قوية قرب خط الشاطئ بنقل بواسطة الأمواج حيث يتم ترسيبه أمامه فى شكل حافات غاطسه تتكون من الحصى Shingle والرمال، وقد تظهر هذه الحواجز فوق مستوى سفح البحر وتعد الأمواج المدمرة العامل الرئيسى فى تكوينها حيث لا يمكن لأى عامل آخر تكوين مثل هذه الأشكال راجع شكل (٦١).

وقد درس Shepard, 1950 نطاق شاطئ بساحل كاليفورنيا وتابع التغيرات التى حدثت به خلال صيف وشتاء العام السابق ووجد أنه أثناء الصيف قد اكتسب كمية من الرمال قد أزيلت أثناء الشتاء.

كذلك أمكن دراسة وقياس الارتباط بين تدرج الشاطئ وأبعاد الأمواج السائدة وقد وجد أنه من السهل دراسة التغيرات التى تطرأ على الشاطئ خلال فترات زمنية طويلة وذلك بعمل مجموعة من القطاعات المنطبعة للمنطقة الشاطئية وكلما ضاقت المساحات بين المنحنيات المرسومة دل ذلك على أن الشاطئ فى حالة توازن وثبات والعكس صحيح.

ويمكـــن لأى دراسة لقطاع شاطئ عمل قطاعات أحدهما يمثل الصيف والآخر الشتاء لعدة سنوات بحيث يمكن الاعتماد فى دراستها وتحليل التغيرات التى حدثت بالشاطئ وعلاقتها بالمتغيرات المختلفة(*).

فعـــل ســـبيل المـــثال يمكن عمل مجموعة من القطاعات فى مواضع مختلفة من ساحل دلتا نهر النيل لتوضـــيح معدلات التغير التى طرأت عليها بعد بناء السد العالى خاصة مع مقارنتها بقطاعات تمت فى فترات سابقة لبنائه وذلك لتوضيح حالات عدم توازن التى اعترت الساحل الدلتاوى (King, C., A., p.149).

(ك) حركة الرواسب على طول الشاطئ : Longshore Drift

أوضـــحت الدراسات الميدانية أن حركة الرواسب الشاطئية تحدث فقط فى النطاق الشاطئى الضـــحل وأن تلـــك الرواسب التى تُنحت فى فصل ما أو أثناء حدوث عاصفة بحرية قوية قد تعود إلى الشاطئ أثناء فصل آخر أو عندما تبدأ الأمواج البانية فى إبطال فعالية وأثر الأمواج المدمرة، وذلك فإنه مـــن الأهمـــية بمكان دراسة حركة الرواسب على طول الشاطئ، حيث أنه مع حدوث عدم توازنه فى منطقة ما – بمعنى إذا ما كانت كمية الرواسب المنقولة منها تفوق الكمية من الرواسب القادمة إليها – سوف تكون عملية النحت قوية وخطيرة.

والحقيقة أنه من الصعب قياس حركة الرواسب على طول الشاطئ قياسات دقيقة من الطبيعة، وإن كانت قد صممت العديد من الطرق التى يمكن بواسطتها الحصول على قياسات كمية Quantity مفـــيدة فى هـــذا الموضـــوع، ومن تلك الطرق القديمة بناء حواجز للأمواج على ساحل سانت بربارة لكاليفورنـــيا ١٩٢٩ مما أدى إلى حدوث تغيير فى طبيعة حركة الرواسب بالمنطقة، فقد حدث نحت فى الجانـــب من الحاجز المواجه للأمواج بامتداد عشرة أميال (١٦كم) خلال سنوات قليلة، بينما حدث إرســـاب وتراكم للمفتتات فى الميناء، والجزء من الشاطئ البعيد عن متناول الأمواج، وقد قدر المعدل الســـنوى للرواســـب التى تراكمت فى الميناء خلال الفترة من ١٩٣٢ حتى ١٩٥٦ بـــ ٢٧٩.٦٥٠ يـــاردة مكعب، وقد تم تثبيت أجهزة لقياس الأمواج على طول الشاطئ فى هذه المنطقة لتتبع ودراسة حـــركة الرواســـب بهـــا، وتم كذلك قياسات خاصة باتجاه الرياح وسرعتها وارتفاع الأمواج وفتراتها ودرجات تحدرها وقوتها، وتم تحليل ودراسة الارتباط بين كل هذه المتغيرات من جهة وحركة الرواسب مـــن جهـــة أخرى، وذلك خلال عشرة شهور من ٥٠-١٩٥١، وقد وجد أن حركة نقل الرواسب

(*) وجـــد أن أكـــثر العلاقات الارتباطية وضوحاً يتمثل فى العلاقة بين تدرج الشاطئ وحجم المواد الشاطئية، وهذا يرجع إلى اختلاف درجة النفاذية Permeability مع اختلاف حجم المواد المكونة للشاطئ.

وعادة ما يقتصر حدوث حركة الرواسب على طول الشاطئ فى المنطقة المحصورة بين نقطة التكسر وخط الشاطئ، ويؤدى تداخل الأمواج إلى تكون قوة دفع Driving Force فى منطقة التكسر إلى تولد تيار فيما وراء أمواج التكسر.

عـــلى طـــول الشـــاطئ تزيد عن معدلها مع زيادة قوة الأمواج كما وجد تركز لهذه الحركة فى منطقة العجـــيج Swash-Zone ومـــنطقة الخضربة، وذلك عندما ما يقل تحدر الموجة، كذلك قام Colldwall بدراسة العلاقة بين كمية الرواسب المنقولة وطاقة الموجة فى خليج أناهيم Aneeheim بولاية كاليفورنيا، وذلـــك خلال الفترة من ١٩٤٨ - ١٩٤٩ آخذاً فى الاعتبار أثر اتجاه الموجة المقربة من الشاطئ، وقد أظهرت دراسته فى تلك المنطقة وجود علاقة واضحة بين كمية الرواسب الرملية المنقولة وتشتت طاقة الأمواج على طول خط الشاطئ، وقد وقع كل من المتغيرين على رسم لوغاريتمى، اتضح منه حدوث زيادة سريعة فى عمليات نقل الرواسب مع زيادة الطاقة.

وجدير بالذكر أن كل التقديرات الخاصة بكمية الرواسب المنقولة على طول الشاطئ قد اختلفت عـــن بعضها البعض ويرجع ذلك إلى اختلاف الظروف الطبيعية من منطقة أخرى خاصة أن معظم التجارب قد تمت على سواحل مكشوفة ومعرضة للأمواج وهى بالطبع تختلف تماماً عن السواحل المشرشرة Indented حيـــث أن كـــل خليج صغير له خصائصه المميزة من حيث سرعة وطبيعة الرواسب المنقولة، وتستخدم فى الوقـــت الحاضر طرقاً حديثة متقدمة لتحديد كمية واتجاه الرواسب المتحركة على طول الشاطئ وذلك بتتبع حـــركة مواد ذات خصائص مميزة Marked Materials وذلك لسهولة تتبعها على الشاطئ، كذلك تستخدم مواد مضيئة ومشعة، وقد استخدمت الطريقة الأخيرة فى التجارب شديدة التعقيد.

كمـــا عرفنا فإن حركة الرواسب على طول الشاطئ تتحرك فى نطاق تكسر الأمواج، وجزء من هذه الحركة يطلق عليه الإزاحة الشاطئية Littoral Drift وتتحرك كمية أقل من الرواسب بسبب قـــدوم الأمواج بانحراف على الشاطئ، وذلك عندما تأتى إليه بميل Obliquely(*) فتغمر البلاج وتحرك فوقه الرواسب فيما يعرف علمياً بماء إزاحة البلاج Beach Drifting.

وكما عرفنا أيضاً فإنه من الصعب ملاحظة وقياس حركة المواد على طول الشاطئ وذلك لأن أغلب الحركة تتم تحت الأمواج المتكسرة منطقة التكسر. وعندما تقرب الأمواج من الشاطئ بميل فإن الماء الزائد يتدفق بعيداً فى موازاة خط الشاطئ فى شكل تيار ساحلى قوى Near Shore Littoral Current داخل منطقة التكسر وتنقل الرواسب كحمولة عالقة داخل التيار المضطرب. راجع الشكل (٦١).

ويوجد على طول العديد من السواحل اتجاه رئيسى سائد تأتى منه الأمواج وتيارات الإزاحة عـــلى طـــول الشاطئ مثلما الحال فى التيار الشاطئى المستمر شرقاً على طول الساحل دلتا نهر النيل فى مصر، والذى يؤثر فى توزيع الرواسب.

(*) يعـــد انحراف الأمواج المقربة من الشاطئ أمر ضرورى لحدوث إزاحة للرواسب أما الشاطئ بجانب أهمية ذلك فى توليد التيارات الشاطئية، حيث تعمل عند تقدمها Swatsh وتراجعها على توليد تيار إزاحة على طول امتداد الشاطئ يعمل على نقل الرواسب بشكل تدريجى وهذا التيار يتأثر بطبيعة الشاطئ ومدى انتظامه أو تعرجه.

وجدير بالذكر أن نقل الرواسب خلال التيارات البحرية تشبه ما يتم فى الأنهار حيث تتحكم فيها الكثافة النوعية لحبات الرواسب، فالتكوينات الثقيلة مثل الماجنيتيت تخرج بسرعة من تيار الماء بينما تبقى الأخف وزناً مثل الكوارتز والفلسبار معلقة فترة أطول، وتنقل لمسافات بعيدة.

وبالنسبة للحبيبات التى يبلغ متوسط قطرها ٠,٢ مللم فإن سرعة التيار اللازمة لنحتها ونقلها تزداد عند الجزر التربيعى لقطر الحبة، بمعنى إذا ما تضاعفت سرعة التيار فإنها تنقل حبات أكبر حجماً من الأولى أربع مرات وإذا ما تضاعفت سرعته ثلاث مرات تستطيع حمل رواسب أكبر حجماً من الأولى بتسع مرات (Bloom, L., A., 1973, p.116) ولذلك فعندما تكون الأمواج والتيارات الجانبية قوية عند الرؤوس البحرية لا يتبقى عند أقدام الجرف سوى الجلاميد بينما تتجرف كل الرواسب الأقل حجماً من الجلاميد نحو الكهوف المتاخمة للرأس البحرية أو نحو المناطق المحمية وتنتقل الرواسب الرملية الناعمة بسهولة بواسطة حركة الإزاحة على طول الشاطئ، ومن ثم تمثل البناء الرئيسى للبلاجات الرملية.

(ل) تتبع تدفق رواسب الشاطئ ميدانياً ومعملياً :

حدث تقدم كبير فى السنوات الأخيرة فى طرق تتبع حركة الرمال على الشاطئ وذلك باستخدام مواد تشبه تماماً المواد الرسوبية الطبيعية من حيث الحجم والكثافة النوعية ودرجة الصلابة مع تمييزها بألوان محددة وذلك لكى يسهل ملاحظاتها وقياس معدلات تحركها وتراكمها.

ويتم ذلك بوضع هذه المواد فى موضع معين بالشاطئ ومن ثم تتحرك فى نفس اتجاه تحرك المواد الشاطئية وبالتالى يمكن تحديد اتجاهات انسيابها ومنطقة توضعها أو تراكمها.

وقد ظهر من بعض التجارب الميدانية أن بعضها دفن فى رمال الشاطئ ولم يتحرك والبعض الآخر قد تحرك إلى منطقة الشاطئ الخارجي.

وقد استخدمت رمال طبيعية أو اصطناعية ملونة فى تجارب بسيطة وكان من أهم المشكلات التى واجهتها تلك التجارب، صعوبة ملاحظة الحبيبات الملون، وذلك بسبب ضآلة كميتها مقارنة برمال الشاطئ ومع ذلك تم التغلب على بعض جوانب هذه المشكلة باستخدام رمال مغلفة بمواد رغوية ومصبوغة بألونا زاهية مما يسهل من عملية تتبع حركتها على الشاطئ.

ويعتبر Yasso من أكثر من قام بمثل هذه التجارب العملية وفى استخدامه أيضاً لمواد مشعة (مضيئة) لتتبع تحركها ليلاً.

وقد تمت بالمعامل تجارب عديدة على نماذج للشاطئ وكانت أهم المشاكل التى قابلتها هذه التجارب ما أرتبط منها بنوع وحجم الحبيبات التى تلائم النموذج، فقد استخدمت الرمال لتمثيل نموذج الشاطئ الحصوى واستخدم الغرين لعمل نموذج للشاطئ الرملى وإن كان الغرين تختلف فى خصائصه الفيزيائية عن الرمل مما أدى بالخروج بنتائج غير مكتملة عن مدى تأثر الشاطئ بالأمواج والتيارات الشاطئية.

وبصدد تتبع الرواسب على طول الشاطئ فقد ذكر الجيومورفولوجيون الروس اللذين قاموا بتجارب خاصة بحركة الرمال على ساحل البحر الأسود بطريقة الأصباغ المضيئة Florescent Dyes أنه من الممكن تتبعها على الشاطئ عندما تكون نسبتها إلى الرمال الطبيعية واحد إلى مليون وذلك حسب تقدير (Joliffe, 1961).

وهناك طريقة أخرى لتتبع حركة الرواسب باستخدام المواد المشعة Radioactive Tracers استخدمها كل من Kidson and Carr وذلك فى تجاربها عام ١٩٦٢، وقد تطورت هذه الطريقة كثيراً بعد ذلك حتى اصبحت من الممكن تتبع حركة هذه المواد وتحديد مواضعها بعد وضعها فى تكوينات الشاطئ وذلك باستخدام أجهزة خاصة توضع فوق البلاج أو فوق مطارق ثقيلة بقاع الشاطئ القريب، ومع ذلك فإن هذه الطريقة مكلفة للغاية ولا تلائم الباحث هنا.

وجدير بالذكر أن كل الوسائل السابقة قد صممت للدراسة الوصفية لحركة المواد على الشاطئ، ومن أول محاولة للقياسات الكمية تلك المحاولة التى قام بها Yassu فى الستينيات من القرن العشرين وذلك باستخدام المواد الملونة لتحديد معدلات نقل الرمال فى الشاطئ الأمامى لساحل لساحل ساندى هوك بولاية نيوجيرسى الأمريكية، حيث تم وضع كميات من المواد الملونة على الشاطئ وكانت فى أربعة أحجام مختلفة وذلك فى قطاع طوله مائة قدم باتجاه حركة تيار الإزاحة على طول الشاطئ وأثبت من خلالها أن أدق الحبيبات حجماً (يتراوح مطرها ما بين ٠,٥٩-٠,٧٠ مللم) وصلت فى البداية تلاها مباشرة وصول حبات الحجم التالى (متوسط قطرها من ٠,٧٠-٠,٨٤ مللم) وكانت أقصى سرعة لتحرك هذه المواد فى الرتبتين الأولى والثانية على الترتيب ٢,٦ و ٢ قدم فى الدقيقة.

إلى جانب ذلك فإنه فمن الممكن قياس كمية الرواسب التى تحركت، وذلك بوضع كميات من المواد الملونة على مسافات فى اتجاه منصرف التيار وذلك لقياس تركز هذه المواد، وقد وجد من التجربة أن تركز هذه المواد يتناسب مع معدل حركة الرواسب.

وقد طبقت هذه التجربة على طول البلاجات الحصوية بالساحل الجنوبى لإنجلترا على يد Joliffe عام ١٩٦١ وأعطت العديد من النتائج الإيجابية والمبيدة وإن كان من الصعب تنفيذها بالشواطئ الرملية.

كذلك أثبت Bagnold فى عام ١٩٤٧[*] من خلال تجاربه المعملية فى أحواض الأمواج أن الأمواج المتحركة نحو الشاطئ تولد تياراً باتجاهه عند عمق قريب من قاع الحر مما قد يثير رواسب القاع ويحركها نحو الشاطئ.

---

[*] جدير بالذكر أن حركة المواد على طول الشاطئ Longshore Drift عادة ما تقتصر على المنطقة من الشاطئ القريب المحصورة بين نقطة التكسر وخط الشاطئ.

فقــد وجد Van Straatn, 1959 أن الأمواج تحرك رمالاً نحو الشواطئ الفرنسية عند عمق يصــل إلى تسعة أمتار كما وجد أن تأثير الأمواج فى تحريك الرمال على ساحل الأطلنطى قد يصل إلى عمق يزيد على ١٨ متراً (Bird, E., C., F., Ibid, p.85).

كذلــك قــام Bean, 1973 بعمــل نمــوذج لــتفهم حركة الرواسب فى الشاطئ القريب (المغمــور بشــكل دائم) والتى تعتمد على تكسر الأمواج الذى يثير الرواسب ويجعلها عالقة فى الماء. وبعــد مرحلة التعلق (حيث تعود الجزيئات لتترسب على القاع) فإن حركة اتجاه الإزاحة الأفقية يعتمد عــلى مــا إذا كــان الجزئ متأثر بسرعة الماء فى الشاطئ البعيد أو القريب، فإذا ما كانت الجزيئات تتطلــب وقتاً قصيراً للاستقراء على القاع مقارنة بفترة الموجة فهنا نجد أن الجزئ سوف يتجه للتحرك باتجاه الشاطئ الأمامى، أما إذا كان وقت الوصول إلى القاع طويلاً فإن صافى تحرك الرواسب سيكون باتجاه الشاطئ البعيد (Goudi, Ibid, p.131).

ثانياً : بعض القياسات التى يمكن القيام بها لخط الشاطئ :

(أ) قياس درجة تعرج خط الشاطئ : Sinuosity Ratio of Shore line

وأعمــاق نطــاق الشــاطئ القريــب عــادة ما يتم قياس تعرج خط الشاطئ من الخرائط الطوبوغرافــية كــبيرة المقياس أو من الصور الجوية، ولكن يمكن القياس من الميدان للوصول إلى نتائج اكــثر واقعية، خاصم مع قطاعات قصيرة نسبيا مثل سواحل اللاجوانات أو فى قطاع على طول شاطئ بحر لأحد الحواجز الساحلية أو لقطاع محدود الامتداد من ساحل دلتا نهر النيل فى مصر وغيرها.

ويــتم القياس باستخدام شواخص وبوصلة وشريط من التيل، ويمكن بسهولة أن يتم القياس باستخدام عجلة قياس هوائية ذات عداد يقوم بقياس المسافات خاصة فى حالة وضوح التعرج والتغلغل المائى فى الساحل.

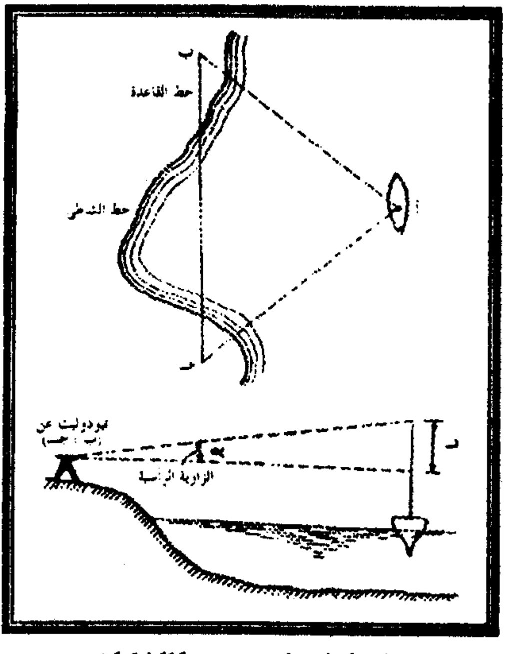
(ب) تحديد خط الشاطئ :

يهــتم مهندســو المساحة البحرية من بين ما يهتموا به تحديد خط الشاطئ وتحديد الأعماق الممتدة أمام حواجز الأمواج وغيرها من وسائل الدفاع الساحلية Coastal defences وكذلك بتحديد الأشــكال الساحلية الغاطسة والممرات الملاحية Navigable passes الملائمة لحركة السفن والمراكب تجاه الموانى البحرية أو الموانى البحرية.

بالنســبة لــرفع خــط الشــاطئ مســاحيا، فــان أهــم خطوة تتمثل فى التحديد الدقيق فى اختيار خط القاعدة وتحديده بدقة، وذلك من خلال الملاحظة الجيدة لطبيعة المنطقة وخصائص سطحها مع عمل رسم توضيحى لها.

وقد حدد عبيدو ١٩٨٧ الشروط المطلوبة فى تحديد خط القاعدة والتى تتمثل فى الآتى:

- أن يكـــون بطول كاف(نحو ١٠٠٠ متر) وفى منطقة سهلية بحيث يكون من السهل إتمام الرصد دون وجود عوائق طوبوغرافية.
- أن يكون اقرب ما يكون لخط الشاطئ.
- الدقـــة فى عمليات القياس والتى عادة ما تتم بشريط من الصلب أو شريط من التيل.
- فى حالـــة وجـــود تداخـــل مائى (شرم بحرى أو خليج) فيـــتم القياس من قارب فى البحر ويحدد موضعه وليكن فى الـــنقطة (أ) بحيث يقاس منها زوايا المثلث أ ب جــ الأفقية، كذلك تقاس الزوايا الراسية كما يتضح ذلك من الشكل (٦٣) عند كل من ب و هــ وفيها يتم حساب البعد ب أ و والبعد جــ أ ثم بعد ذلك يتم حساب طول خـــط القـــاعدة بمعلومية الزوايا الأفقية الداخلية للمثلث أ ب جــ والتى سبق قياسها(المرجع السابق، ص ٦٤).



شكل (٦٣) تحديد خط الشاطئ

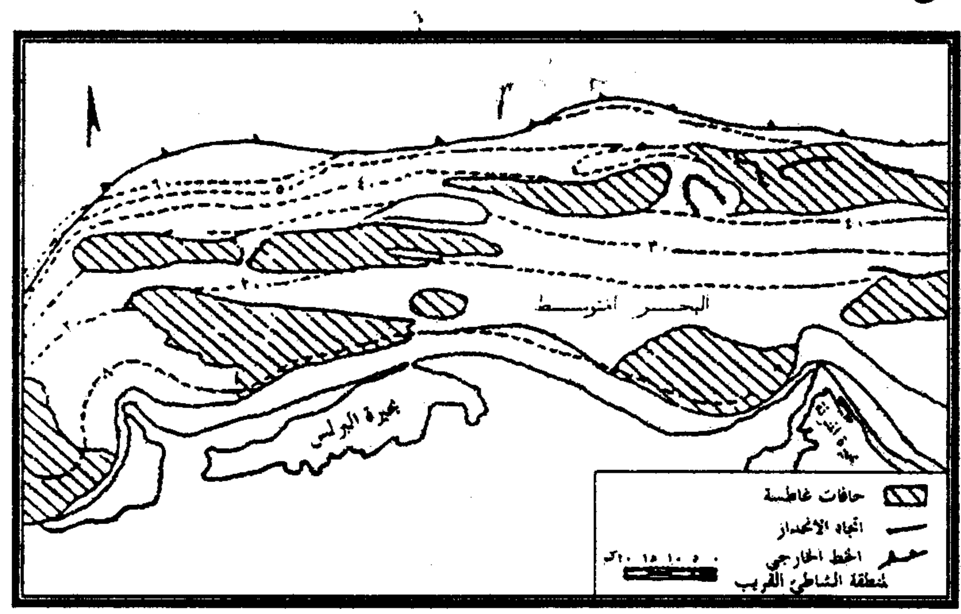
يمكـــن تحديـــد أعمـــاق الـــبحر فى مـــنطقة الشـــاطئ القريب Near Shore وهى التى تهم الجـــيومورفولوجى باعتـــبار هـــذا الـــنطاق المائي الضحل يمثل المجال الرئيسى لتكون أمواج التكسر Breakers وانحـــراف الأمـــواج بانـــتقالها من المياه العميقة نحو المياه الضحلة واحتكاك قيعانها بحافات غاطسة تؤدى إلى انحرافها Refraction وهى فى طريقها إلى خط الشاطئ كما أن هذا النطاق هو مجال التـــيارات الشاطئية Littoral currents وتيارات الإزاحة الشاطئية والتيارات الشقية(المازقة) وغيرها من عوامل بحرية تقوم بعمليات تشكيل الشواطئ بالنحت أو الإرساب.

وتوجـــد طريقة سير الأعماق بواسطة مركب يتحرك على طول امتداد القطاع شكل (٦٣) وقوم بقياس الأعماق عند نقاط مختلفة حيث يثبت القارب(المركب) بواسطة (خطاطيف) ثم يدلى منها كـــابل (ســـلك معدنى) ملفوف على بكرة أعلى القارب ومثبت عليه علامات نحاسية لتحديد الأطوال وينتهى إلى اسفل بثقل حديدى قد يصل وزنه إلى خمسة كيلو جرامات(لمعرفة كيفية القيام بالمقياس يمكن الرجوع إلى المرجع السابق.

وتوجـــد طريقة صدى الصوت Echo sounding وتعتمد هذه الطريقة على سريان الموجات الصـــوتية واصـــطدامها بالقاع وارتدادها نحو السطح والتى تبلغ سرعتها نحو ١٥٠٠ متر/ ثانية وعند اســـتخدام هـــذه الطريقة يقاس الزمن المستغرق فى انتقالها نحو القاع وارتدادها من القاع نحو المصدر الأصلى لها فى قاع المركب (المرجع السابق، ص٧٣).

وتتميز طريقة صدى الصوت بسرعة تحديد الأعماق وإمكان القياس أثناء حركة السفن بسرعتها القصوى مع إمكانية التسجيل فى كل الظروف الجوية التى يستحيل القياس أثنائها بالطرق التقليدية.

وجدير بالذكر أن كلا من الوحدات المورفولوجية .Misdropand and Sestini, 1976 قد قاما بدراسة للقاع أمام ساحل دلتا النيل فى مصر وقاما بتحديد الحافات الغاطسة وقياس الانحدار العام للشاطئ القريب كما يظهر ذلك من الشكل(٦٤) الذى يبين طوبوغرافية القاع أمام ساحل الدلتا واهم ملامحها المتمثلة فى الحافات الغاطسة (رمضان نوفل،١٩٩٤، ص ٥٧) والتى بدورها تؤثر فى انحراف الأمواج القادمة باتجاه الساحل الدلتاوى.



شكل (٦٤) طبوغرافية القاع أمام ساحل الدلتا فى مصر

ثالثاً : أشكال النحت الساحلية من الميدان :

الجروف الساحلية : Coastal cliffs وما يرتبط بها من ملامح

عـادة ما تمثل سواحل الجروف مجالا لظهور العديد من الملامح والأشكال المورفولوجية الناتجة عـن بفعل العمليات التجوية النحت وبفعل العمليات البحرية وأهمها الأرصفة الشاطئية Platforms ومـا يرتـبط بهـا من خصائص بوسائل القياس المتاحة وملامح عديدة يمكن للباحث فى الميدان تتبعها وقياس أبعادها من الطبيعة المعروفة.

كما أن الجروف عادة ما ترتبط بعمليات انهيارات أرضية Masswasting بأنواع مختلفة تؤثر بدورهـا تأثيرا كبيرا فى تطور الجروف الساحلية وتعديل أبعادها وإبراز العديد من الأشكال والملامح الناتجة عن حدوثها.

بالنسبة للجروف الساحلية فإن على الدارس فى الميدان أن يتعرف بداية على تكوينها الصخرى وخصائصه الليثولوجية بالنسبة للجروف الساحلية فان على الدارس فى ووضعه الطبقى (الاستراتجرافى) بمعنى يجب عليه على نوع الصخر المكون له وأحجام حبيباته ووضع طبقاته (إذا ما كان أن يتعرف من صخور رسوبية طباقية) من حيث درجة واتجاه ميلها وأسماكها وأسطح الطبقية بها Bedding planes ومدى تجانسها أو تعاقب طبقات صلبة مع طبقات لينة، كذلك يجب عليه تحديد درجة تفصلها من خلال تحديد أنواع الفواصل من خلال تحديد أنواع الفواصل Joints وأبعادها واتجاهاتها وكثافتها، فعلى سبيل المثال نجد أن الجروف المكونة من صخور جيرية أو طينية عادة ما تكون اكثر أنواع الجروف تعرضا للسقوط أو الانزلاق الصخرى خاصة عندما يشتد انحدارها باتجاه البحر وتكون أقدامها عرضة للتقويض والبرى بفعل الحت الموجى wave Abrasion أو بفعل عمليات التجوية المائية Water layer Weathering.

كما يجب أن نعرف أن الطبقات المكونة للجروف عندما تكون مائلة الصخرية باتجاه اليابس تختلف فى خصائصها عن تلك التى تميل طبقاتها باتجاه البحر وتختلف كذلك عن الجروف أفقية الطبقات(*).

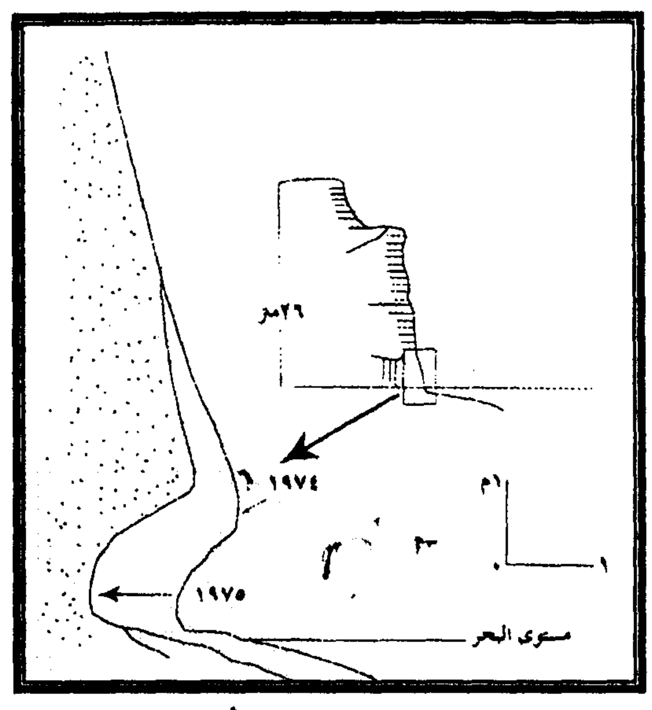
ويقدر كل من Williams and Davies, 1987 أن تراجع الجروف البحيرية يبلغ سنوياً معدلاً يصل إلى ٦,٨سم ويمكن للدارس الميدانى أن يقوم بقياس معدلات التراجع فى مثل تلك الجروف خلال فترة زمنية محددة.

ويوضح الشكل (٨) ما قام به Hodgkin 1964 من قياس مباشر لتراجع أحد الجروف الجيرية عند نقطة بيرون Point Peron غربى استراليا معدلات هذا التراجع وذلك من خلال قيامه بتثبيت وتحديد قضبان من الصلب غير قابل للصدأ Stainless stell rods وذلك فى واجهة فجوة جرفية ساحلية Coastal Notch وعلى مناسيب مختلفة فوق مستوى سطح البحر.

وقد وجد حدوث إزالة للقشور الخارجية Plaster casts بعد عدة سنوات من القياس، وأمكنه قياس التراجع وذلك عن طريق قياس الأجزاء البارزة من القضبان الحديدية التى قام بتثبيتها فى واجهة الجرف.

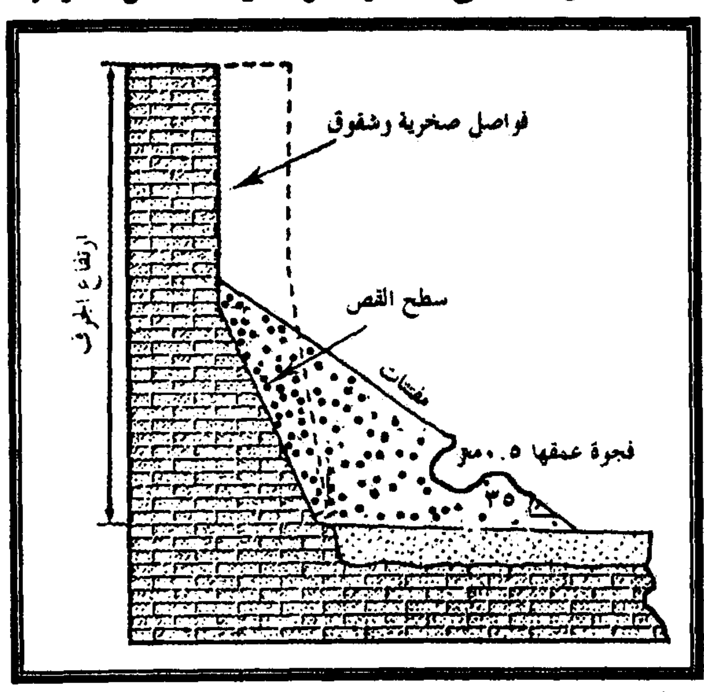
وقد أثبتت التجربة الميدانية كما عرفنا لـ Hodgkin أن الوجه الصخرى ككل قد تراجع نتيجة تعرضه للنحت، وكان الجزء الأسفل منه من أكثر الأجزاء تعرضاً للتراجع، وبلغ معدل التراجع العام تبعا لهذه التجربة ملليمتر واحد فى السنة (Ollier, 195, p. 250) مع ملاحظة أن أقدم الجرف المغمورة بالماء بشكل دائم كانت أقل الأجزاء تعرضاً للتراجع ويرجع ذلك إلى أن تعاقب البلل Wetting مع التجفيف Drying له دور فعال فى عمليات التراجع فى المناسيب الأعلى التى تتعرض لرزاز الأمواج أو الغمر الدورى لمياه البحر شكل (٦٥).

(*) جدير بالذكر أن الكثير من الجروف شديدة الانحدار وخاصة المكونة من صخور نارية صلبة تتميز بعدم مساميتها وكثرة فواصلها، هى عبارة عن أشكال ساحلية موروثة قد تم تعديلها نسبياً بواسطة الغمر البحرى الهولوسينى خاصة مع وجودها ممتدة على سواحل تتميز المياه أمامها بهدوء أمواجها مثل السواحل الجرفية النارية على الساحل الشرقى والشمال الشرقى لجزيرة شدوان المصرية بالبحر الأحمر.



شكل (٦٥) قياس معدل تطور فجوة أمواج بجرف بحرى

وكمـا ذكرنا فانه من الأهمية بمكان معرفة اتجاهات الفواصل الصخرية على واجهة الجرف، فإذا ما كانت ممتدة امتدادا رأسيا متوازيا - وذلك فى صخور طينية على سبيل المثال- فان ذلك يرتبط بحـدوث الانقـلاب الصخرى **Rock toppling** وهو نوع من السقوط الصخرى **Rock fall** وذلك بارتكاز الكتل الصخرى - كتل عمودية فى اغلب الأحوال- على منحدر الجرف وذلك قبيل سقوطها **(Sunaming, 1992, p. 107)**.

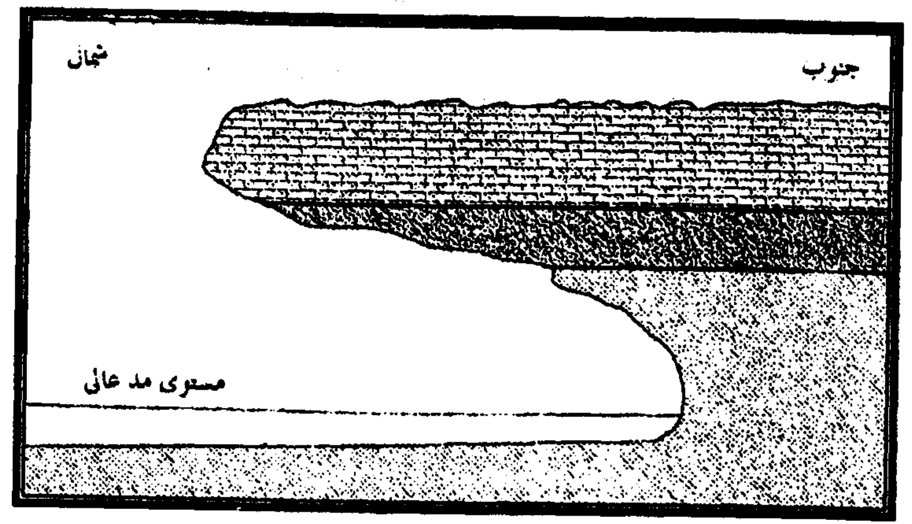


شكل (٦٦) قياسات بقطاع فى جرف من صخور طباشيرية بجزيرة ثانت

ويوضح الشكل (٦٦) قطاعا مـن جرف من صخور طباشيرية بجزيرة ثانـت Thant قـام بدراسـته وقياسه Hutchinson, 1984, يبلغ ارتفاعه ١٥متراً ويـتكون من طبقات أفقية من الطباشير chalk مـع كـثرة الفواصل الرأسية Vertical joints بـه، وقد تعرض لانهيار قـص Shear failure نتيجة امتداد شق ناتج عن الشد Tensisnal crack بطول سـبعة أمتار مع تكون فجوة ناتجة عن النحت الموجى Wave cut nstch بعمق نصف متر عند قدمه مما ساعد على حدوث الانهيار (لاحظ الشكل العام لوجه الجرف وكيفية القياس الميدانى).

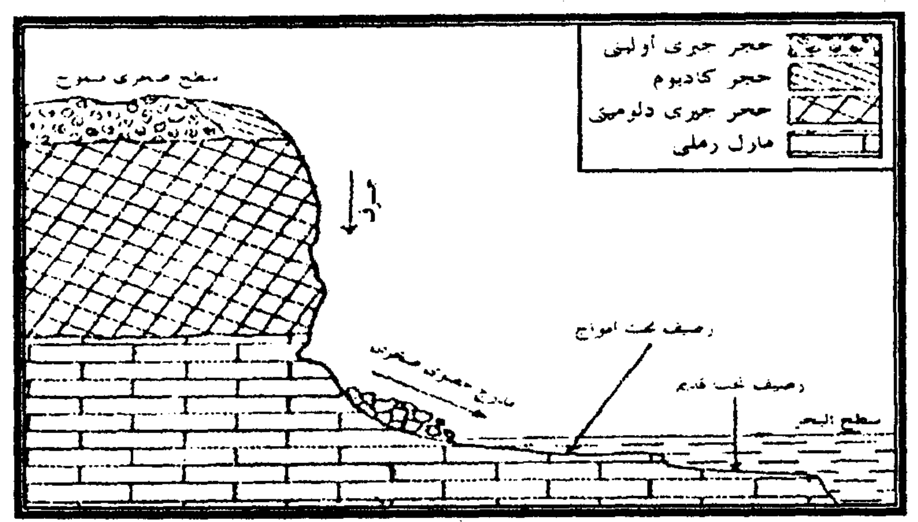
وفى دراسة للبارودى ١٩٨٩ لجزر فرسان السعوديه بالبحر الأحمر قام باستخدام مجموعة من المؤشـرات الـتى تدل على نحت وتطور الجروف، وتمثلت اساسا فى احده فى الاعتبار عتبـات نحت الـبحرى لجـروف سـاحل "الصير" فى جزيرة فرسان الكبرى مؤشرا قويا لمعرفة مدى تراجع الجرف الـبحرى للساحل وذلك رغم اختلاف معدلات امتدادها أمام الرؤوس والخلجان بالساحل المذكور بما يتراوح بين ٥٠ و٥٠٠ متر مما يصعب من مهمة الاعتماد عليها كمؤشر لحساب تراجع الجروف خاصة مـع امـتداد أو تراكم المفتتات المرجانية (الشعابية) **Reefal platforms** وصعوبة التفرقة بينها وبين عتـبات النحـت الـبحرى (الـبارودى، ١٩٨٩، ص٥٩) كما اعتمد فى قياساته الميدانية على تقدم امـتدادات الشـرفات ***Visors*** تجـاه البحر وتعمق الفجوات ***Notchs*** وذلك لتحديد معدلات النحت والإذابـة الكـيماوية، وربـط ذلـك بخصائص مياه الشاطئ القريـب ***Near shore*** من حيث العمق، والانفتاح نحو الشاطئ البعيد (الخارجى) **Off shore**.

فقد وجد أن جروف رأس"شدا" بالجزيرة الرئيسية(فرسان الكبرى) تطل على مياه عميقة تساعد عـلى قـدوم أمواج مدمرة Destructive waves ، مما أدى إلى عدم تقدم شرفاتها وانهيارها بسبب زيادة كثافة الشـقوق بها، خاصة مع تكونها من صخور جيرية شعابية، وتعرضها لعمليات التجوية والانهيار، عكس الحال مع بعض الجروف الأخرى التى تظهر بها الشرفات الجرفية (المرجع السابق، ص٦١). راجع الشكل (٦٧).



شكل (٦٧) جرف ذو شرفة وفجوة أمواج لساحل جزيرة فرسان

ويوضـح الشـكل (٦٨) رسما توضيحيا لأحد الجروف الساحلية، يظهر به الكثير مما يمكن للـدارس فى الميدان ملاحظته وقياسه: مثل شدة الانحدار وتراكم رواسـب من أحجام مختلفة عند أقدام الجـرف فـيما بين أقدام الجرف وخلف الرصيف البحرى **Marine platform** وكذلك وضوح فجوة أمـواج أعلاه مع وجود مستويين للرصـف البحرى أحدهما أمامى قديم أقل منسوباً والأخر مظاهرته. وأعلى منسوباً واحدث عمراً.



شكل (٦٨) رسم توضيحى لأحد الجروف الساحلية تتحدد به الملامح والأشكال التى ترتبط بالجروف والتى يمكن قياسها ميدانياً

ومـن المهـم للـدارس فى الميدان ملاحظة الطبقات المكونة للجرف والرصيف وتحديد نوع صـخورها وخصـائص تـتابعها الطباقى من حيث السمك واتجاه درجة ميلها ومقاس امتداد رصيف النحت وانحداره للربط بين خصائصه المورفولوجية وخصائص الجرف من حيث الارتفاع والانحدار.

كذلك يمكن اخذ عينات من رواسب الدرج الحصوى وتحديد أبعادها الحجمية وتحليل مكوناقما الصخرية مع قياس انحدار الدرج الرسوبى(للاستزادة، راجع محمد صبرى محسوب، ص ٣٣٤).

وجديـر بالذكر انه إذا كان يوجد خدوش وخطوط محفورة رأسية على وجه الجرف أو تميل بشـدة ممكن أن تكون صدعيا أو نتيجة حركة انزلاق وإذا كان يمتد أمامه رصيف أمواج فيكون نتاج نحت أمواج، وإذا ما كان يقطع طبقة أو مجموعة من الطبقات فهو نتاج نحت وتجوية وكما نعرف فإن أثر الأمواج يظهر أسفل وجه الجرف عند مستوى المد المرتفع (فردرك، هـ ، لاهى، ١٩٦١، ص٣٧١).

ويوضح الشكل (٦٩) تصنيفا للجروف وفقا لتكويناقما الصخرية وتتابعها الطبقى. ويمكن أن نلاحـظ مـنها ما يحدث لها من تشكيل وتغيرات فى ملامحها وأبعادها الجيومورفولوجية بفعل العمليات البحرية Marine processes.

(أ) جروف من صخور الطباشير(يقاوم عمليات التعرية).

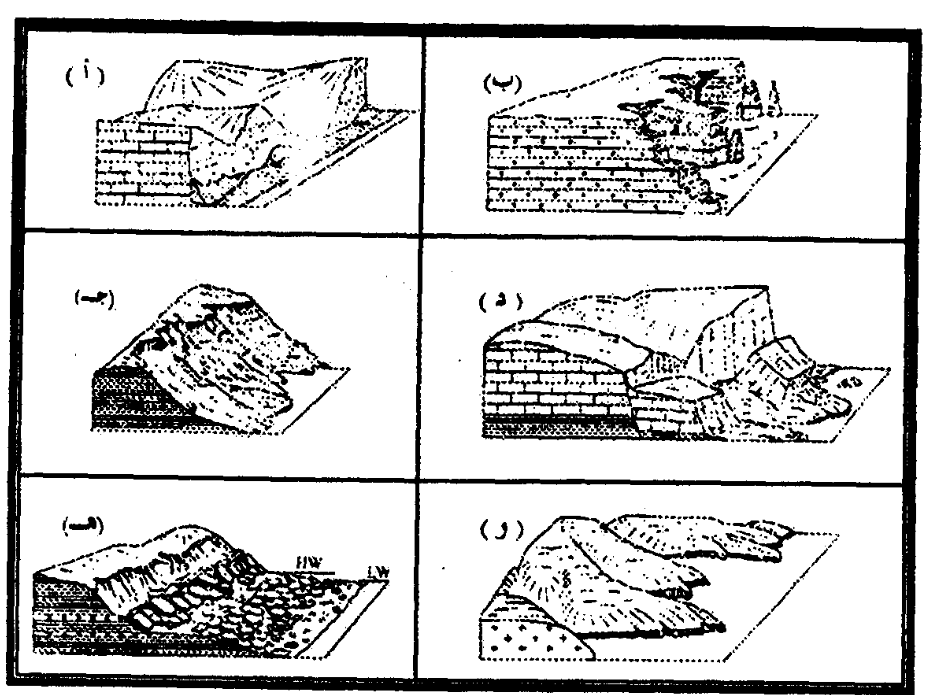
(ب) جـروف مـن طـبقات أفقية Horizontal strata من صخور الحجر الرملى تم تشكيله بفعل عملـيات النحـت والـتجوية، مـع ظهور ملامح أرضية مرتبطة به مثل المسلات العمودية Vertical stacks والكهوف الساحلية Costal caves ومدرجات النحت التى تبرز فوق أو فى اتجاه رصيف نحت الأمواج Wave cut platforms.

(جـــ) جرف من تكوينات طينية وطفلية Clays and shales وقد انعكست تكويناته الضعيفة على ضـــعف مقاومـــته لعملـــيات التعرية البحرية، وعدم وضوح أية ملامح مورفولوجية على طول منحدراته نحو البحر.

(د) جـــرف مكون من طباشير يعلو طبقة طينية، وهو من الجروف المركبة Composite cliff يلاحظ منه حدوث تقويض سفلى Under cutting بفعل الأمواج وانزلاقات كتل صخرية Rock sliding على طول جبهته.

(هـ) جرف تتداخل فيه طبقات الحجر الرملى والطفل، وهو من الجروف المعقدة Complex ويلاحظ الانـــزلاقات الأرضية والتراكمات من المفتتات الكتلية الجلمودية التى تقل أحجامها بالاتجاه نحو البحر، وذلك فيما بين أعلى منسوب لمياه المد وأدنى منسوب أثناء الجذر.

(و)جـــرف يبدو انه قد تأثر بالظروف الجيولوجية والعمليات القارية وتغيرات منسوب سطح البحر .(Guilcher, 1958, figure, 4, p. 72.)



شكل (٦٩) تصنيف للجروف وفقاً لتكويناتها الصخرية وتتابعها الطبقى

وبشـــكل عـــام فان شكل الجروف فى الصخور المقاومة Resistant rocks يتأثر باتجاهات خطوط الضعف Planes of weakness متمثلة فى الطبقية Bedding ومجموعة الفواصل.

فبيـــنما تكون الطبقات أفقية أو تميل ميلا خفيفا نحو اليابس، يصبح الجرف ذا واجهة رأسية مـــثل جـــروف الحجر الرملى شكل (٦٩ ب)، بينما فى حالة الطبقية الرأسية والفواصل الأفقية وشبه الأفقية ينتج عنها جروف منحدرة نسبياً، مع عدم وضوح ملامح أرضية بارزة من الشكل (٧٠ أ) من الصخور النارية والمتحولة ذات الفواصل الرأسية الكثيفة: يلاحظ شدة الانحدار مع بروز كتل صخرية فوق رصيف النحت الممتد أمامه باتجاه البحر.

كمـــا وضـــح الشـــكل (٧٠ أ،ب،جـ). التأثيرات النسبية لعمليات النحـــت الـــبحرية والقارية على مورفولوجية الجروف فالشكل (٧٠ أ) يوضح الآثار الناجمة عـــن شـــدة النحت البحرى وضعف النحت القارى مما انعكس على شكل الجرف وتعرضه للانهيار وذلك نتيجة للتقويض السفلى والإزالة السريعة للمكونات أسفل الجرف.

ويوضـــح الشكل (٧٠ ب) نحت بحـــرى معـــتدل ونحـــت قارى معتدل وقد ينعكس فى ظروف جرف رأسى مع حدوث زحـــف صخرى أعلاه، وتراكمات مفتتات عند أقدامه، كما يوضح الشكل (٧٠ جـ) حـــدوث انهيارات أرضية قوية ونحت بحرى معتدل. (Davies, 1980, Figure 49, p. 76).

(أ)

(ب)

(جـ)

شكل (٧٠) التأثيرات النسبية لعمليات النحت البحرية والقارية على سواحل جرفية

وجديـــر بالذكـــر أنـــه قد تمت قياســـات ميدانية لبعض الجروف لحساب معدلات تراجعها السنوية فى مناطق كثيرة مـــثل جـــروف ســـاحل هولدرنـــس Holderness بإنجلترا وهى جروف نتجت عن مجروفات جليدية، بلغ معدل تراجعها السنوى ما بين ١,٢ -١ ,٧٥مللم. وقد تم متابعتها (متابعة قياسها) على امتداد ٣٠ كم وذلك خلال الفترة من ١٨٨٢- ١٩٥٢. وبلغ معدل تراجع جروف بولايـــة لويـــزيانا الأمريكية - وهى مكونة من الرمال والطين - ما بين ثمانية أمتار و ٣٨ متراً وذلك بالجزر الشاطئية.

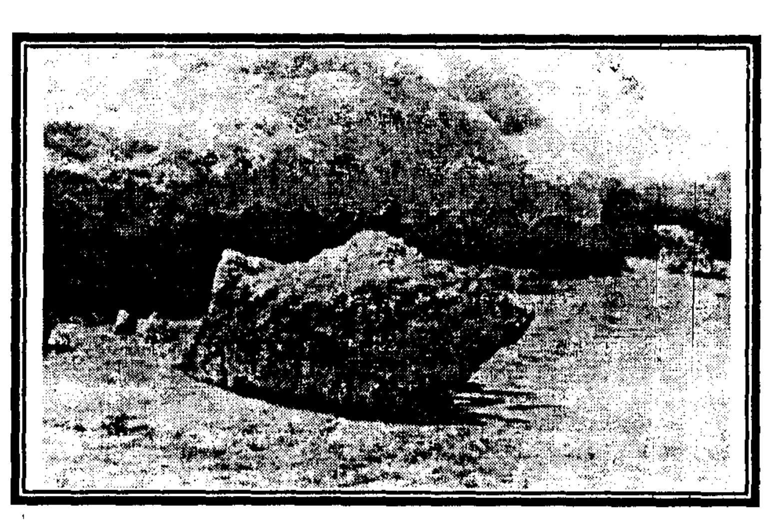
كذلـــك بلغ معدل تراجع جروف شمال كنت بإنجلترا وهى مكونة من طين لندن ٠,٨١ من المتر سنوياً (Chorly, et al, 1984, p. 395).

وتوضح اللوحة (٤٤) جرف بحرى بارتفاع نحو خمسة أمتار فوق مستوى سطح البحر برأس أبو سومة يلاحظ امتداد رصيف نحت أمواج ذا سطح خشن وانحدار معتدل باتجاه مياه ضحلة وعدم بروز أية ملامح على وجه الجرف باستثناء تشققات واضحة وآثار لتراجع قطاعه الأسفل مع نحت الأمواج، مع إمكانية تعرض أعلى جبهته للانهيار، ويلاحظ كذلك عدم وجود ترسبات بأية أحجام فوق الرصيف مما يدل على زيادة فعالية الاحتجار والنحت الموجى.

وتوضح اللوحة رقم (٤٥) جرف بحرى من صخور جيرية تعرض لنحت الأمواج وتكوين فجوة أمواج مع انهيار أعالى جبهته وسقوط كتلة صخرية متماسكة لم تتمكن الأمواج من تحجيرها أو تكسيرها لضعفها. كما يلاحظ امتداد رصيف نحت مستوى السطح، ووضوح أثر التجوية خاصة على أسطح الكتلة الصخرية الساقطة.



لوحة (٤٤) جرف بحرى برأس أبو سومة بالبحر الأحمر شمالى سفاجة، يلاحظ عدم انحدار واجهته مع امتداد رصيف نحت أمواج بانحدار معتدل نحو البحر حيث مياه الشاطئ القريب الضحلة.



لوحة (٤٥) جرف بحرى من صخور جيرية شرقى راس أبو سومة تعرض لنحت الأمواج وانهيار أعالى جبهته.

رابعاً : دراسة وقياس الأرصفة الشاطئية ميدانياً :

مقدمـة :

من المعروف أن تطور الأرصفة الشاطئية يرتبط بوضوح بتراجع الجروف **Cliffs Recession**، حيـث يوجد الرصيف حيثما يتراجع الجرف بشكل سريع، وتكون الإزاحة (الانجراف) على طول الشاطئ **Long shore Drift** ذا فعالية كبيرة.

وعـادة مـا تكون الملامح المرتبطة بشواطئ الجروف، مثل الأقواس البحرية **Sea Arches** والمسـلات والكهـوف مصاحبة لتراجع الجرف وامتداد الرصيف، وذلك تحت ضوابط بنائية متباينة بشدة لها دور كبير فى تحديد شكل الرصيف الشاطئى، وعادة ما تتجه الأرضية الأكثر اتساعاً للارتباط بصخور أقل مقاومة لعمليات التعرية، تتكون من راقات طبقية **Thinly Bedded** تكثر بها الفواصل، ترتكز على طبقات مستوية مع مضرب طبقات يمتد فى موازاة خط الشاطئ، وحينما يزيد الميل يضيق الرصـيف، وإن كانت الأرصفة المتسعة فى حالة شدة انحدار الميل **Dip Slope**، عادة ما تمتد مضاربها بزوايا متعامدة على خط الشاطئ **Shore Line**.

والصخور المقاومة تتجه عادة للارتباط بأرصفة نحت أضيق وأشد انحداراً مع ارتفاع منسوبها، وفى حالة الصخور الأضعف، فإن نقطة الوصل بين الجرف والرصيف **Platform Cliff Junetion**، تـتجه للظهور عند منسوب المد الربيعى المرتفع، وإن كانت الأخيرة تقل منسوباً مع الجروف شديدة الانحدار المكونة من صخور شديدة المقاومة لعمليات النحت. **(Chorly, etal, Ibid, p. 395)**.

والواقـع أن العملـيات البحرية تمثل ضوابطاً أساسية فى تشكيل أرصفة الشاطئ، فعمليات التحجير **Quarrying** والنحت الموجى القوى قد تؤدى إلى تكوين رصيف شاطئ متسع.

وعادة ما يتجه الرصيف الناتج عن النحت للانحدار من علامة المد المرتفع إلى علامة الجزر، ومن ثم فإن الانحدار يرتبط ارتباطاً مباشراً بالفارق المادى **Tidal Range**، وعادة ما يؤثر المد المرتفع فى منطقة الوصل بين الجرف والرصيف.

ورغم تعدد العوامل المؤثرة فى تشكيل رصيف الشاطئ، فإنه من الصعب تصنيفها، وإن كان "رايت" **Wright 1967** قد حدد ثلاثة أنواع منها وهى على النحو التالى:

(أ) رصيف ذو سطح مائل : **Inclined**

عـادة مـا يظهـر فى السواحل الغربية فى نصف الكرة الشمالى بمتوسط اتساع مائة متر، مع أقصى اتساع ٢٧٠ متراً، وانحدار يتراوح ما بين درجة واحدة وأربع درجات، وتظهر وصلة الجـرف بالرصيف عادة عند مستوى المد المرتفع شكل (٧١ أ)، وكلما زاد الفارق المدى ازداد انحدار واتساع الرصيف لوحة (٤٤).


لوحة (٤٦) رصيف ضيق تغطيه تكوينات حصوية أمام أحد الجروف المنخفضة على الساحل الشمالى الشرقى كوشة الغردقة

(ب) الأرصفة الأفقية :

تتميز بقلة انحدارها وامتداداها عند علامة المد المرتفع، ينتهى باتجاه البحر بعتبة **Ramp** بارتفاع ثلاثة أمتار، وهى عادة ما ترتبط بأرصفة التجوية بالمناطق المدارية المتأثرة بالنحت البيولوجى والفارق المدى المنخفض، مثل الأرصفة الشاطئية بسواحل البحر الأحمر، لوحة (٤٥)، وتوضح اللوحة (٤٦) رصيف ضيق تغطيه مكونات حصوية أمام أحد الجروف المنخفضة على الساحل الشمالى الشرقى كوشة الغردقة.

(جـ) أرصفة الأمواج العنيفة :

عادة ما توجد بالسواحل المدارية التى تتأثر بالأمواج العنيفة التى تأتى إلى الشاطئ على فترات متباعدة تفصلها فترات زمنية طويلة تتعرض خلالها السواحل لأمواج ضعيفة، مع الأخذ فى الاعتبار أن الظروف السائدة (الآنية) قد لا تكون لها علاقة بخصائص الأرصفة الممتدة والتى قد تكون ميراث مراحل زمنية قديمة.

ويوجد تقسيم **Bird** للأرصفة الشاطئية تمثل الأول منها فى أرصفة التحجير والحت الموجى، ويقصد بها الأرصفة المدببة التى تقابل الرصيف (أ) عند **Wright**، وكان يطلق عليها أرصفة نحت الأمواج وهو كما نعرف يعكس العلاقة بين قوة الأمواج **Fw** ودرجة مقاومة الصخور الشاطئية، "**Fr**" (راجع محمد صبرى محسوب، ٢٠٠٢، ص٣٣٧) وقد أكد **Threnhiale, 1978** وجود علاقة طردية بين انحدار سطح الرصيف الشاطئى والفارق المدى، وتتميز بوجود قنوات مائية تقتفى أثر الشقوق.

والنوع الثانى يتمثل فى أرصفة التجوية المائية :

ينتج هذا النوع من الأرصفة الشاطئية نتيجة لتعاقب البلل والجفاف على صخور الشاطئ، ومن ثم فإنها تقع عادة عند منسوب أعلى من مستوى التشبع الدائم، أى أن منسوبها غالباً ما يرتبط فى وجوده بعلامة المد العالى، كذلك يلعب ارتفاع الموجه دوراً كبيراً فى تحديد المستوى المؤثر لهذا النمط من أنماط الأرصفة، وللمسامية أيضاً دور مؤثر بجانب الظروف المناخية السائدة، فالصخور المنفذة **Permeable rocks** الطباقية والتى تميل ميلاً خفيفاً، ومعدلات التبخر الزائدة ونمط المد والجزر اليومى والمختلط، كلها تساعد على حدوث الجفاف وكذلك فإن الحرارة المرتفعة تقوى من سرعة وزيادة نشاط التفاعلات الكيماوية وبروز آثار التجوية التى تطغى على مظاهر النحت والاحتجار التى عادة ما تكون ضعيفة فى مثل هذه الأنواع من الأرصفة.

وينقسم هذا النوع (النوع الثانى من أرصفة Bird) لنوعين ثانويين هما:

الأرصفة الشاطئية :

الناتجة بشكل مباشر عن تراجع جرف ساحلى تعرض فى قطاعه الأسفل (أقدامه) لعملية التقويض السفلى بفعل التجوية مع انحداره انحداراً خفيفاً تجاه البحر مع تميزه باستمراره وإحاطته من جهة اليابس بجروف منخفضة راجع اللوح (٤٤، ٤٥، ٤٦).

أرصفة نتجت عن تعاقب البلل والجفاف :

وهى فى واقع الأمر النتاج الحقيقى للتجوية المائية، مع تميز أسطحها بوضعها الأفقى التام.

أما النوع الثالث من الأرصفة الشاطئية تبعاً لتصنيف بيرد :

فهى الأرصفة الشاطئية المرتبطة بالإذابة والنحت البيولوجى وتعرف عند Bird بأرصفة المد المنخفض وهى تتطور فى السواحل الجيرية الكثيفة وترجع فى تكوينها إلى البلايستوسين مثلما الحال فى قطاعات على ساحل غرب استراليا وسواحل البحر الأحمر وساحل مطروح فى مصر وغيرها من تلك السواحل التى يبدو من خصائص أرصفتها أن الأخيرة ارتبطت فى تطورها بصفة عامة بعملية الإذابة أو عملية النحت البيولوجى فى بيئة تتميز بأمواجها المنخفضة والفارق المدى الضيق مع ارتفاع منسوبها عن مستوى الماء عند الجزر ببضعة سنتيمترات ويمكن للدارس فى الميدان أن يسجل العديد من المؤشرات والأدلة على أهم الملامح بهذه الأرصفة والتى ارتبطت بالعمليات والظروف السائدة.



لوحة (٤٧) رصيف مرجانى (مسطح مدى) من صخور مرجانية متماسكة مع تشقق وظهور تجويفات به وخلوه من أية رواسب.

كذلك هناك المسطحات الشعابية Reefal Flats الناتجة عن الترسيب المرجانى أو عن عمليات النحت فى التكوينات المرجانية التى يمكن اعتبارها أرصفة شاطئية لها خصائصها المميزة، كما أن هناك أرصفة شاطئية تتكون بواسطة طحالب جيرية تضيف إليها قشور جيرية رقيقة. وقد لوحظ وجود ارتباط قوى بين منسوب مسطحات الشعاب أو مسطحات الطحالب Algal Flats ودرجة تعرضها للأمواج والتى تصل إلى أعلى منسوب لها عند الرؤوس وإلى أدنى منسوب عند الخلجان (Russel, 1967) اللوحة (٤٧) والتى توضح رصيف شعابى يمثل مسطحاً مدياً متماسك مع امتداد التشققات والجروف.

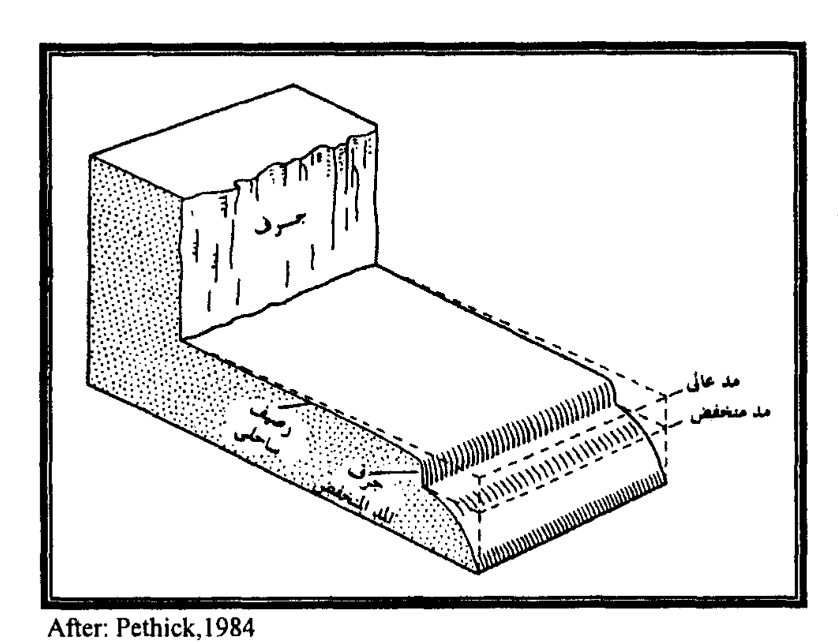
كلمة شاطئ كما نعرف تعنى المنطقة السهلية المحصورة بين حضيض أقرب جرف أو حافة للبحر وخط الشاطئ Shoreline أو ما يعرف بسيف البحر Sea Sword ، وينقسم الشاطئ بدوره إلى وحدات لكل وحدة منها موضعها وحدودها التى يمكن تحديدها بمعايير معروفة إن لم تكن واضحة التحديد.

أولهـــا باتجـــاه الـــيابس ما يعرف بالشاطئ الخلفى Backshore ويقصد به النطاق الساحلى المحصور بين حضيض الجرف سابق الذكر وبين خط يمتد عند أقصى نقطة تصل إليها الأمواج العاتية أو أقصى نقطة تصلها مياه المد البحرى الاستثنائى، وتظهر بالشاطئ الخلفى أشكال مورفولوجية أهمها ما يرتـــبط بالكثبان الرملية والنباك والعروض الرملية والتى تطبق عليها عمليات القياس التى ذكرت فى الفصل الخاص بالأشكال الرياحية وكذلك قد توجد فيه سبخات مرتفعة (جافة) وغيرها.

أما الشاطئ الخلفى مباشرة -باتجاه البحر - وينحصر بين علامتى المد المرتفع والجزر واللتان بدورهما يحدداً تحرك خط الشاطئ ما بين المد والجزر، ويتميز هذا النطاق بوجود العديد من الأشكال الساحلية الإرسابية - عادة - مثل الألسنة الرملية والحواجز والمسننات والسبخات الشاطئية المنخفضة والبلاجات والأسطح المدرية وغيرها مما يمكن أن يتم قياس أبعاده وخصائصه المختلفة ميدانياً.

بالنسبة للشاطئ القريب Near shore فيقصد به النطاق من الشاطئ المغمور بشكل دائم بمياه الـــبحر وذلك فى نطاق المياه الضحلة المتاخمة لخط الشاطئ بجانب ما يتميز به لكونه موضع العمليات المائية البحرية التى تقوم بها التيارات والأمواج وحركة المد والجزر بأنواعها المختلفة شكل (٧١).

وتتمـــثل أهـــم الأشكال الساحلية بالشواطئ المنخفضة فى البلاج Beaeh واللاجونات والحواجز والمستنقعات والألسنة والسبخات وغيرها.



After: Pethick,1984

شكل (٧١) شكل توضيحى لأقسام الشاطئ المختلفة

ويقصد بالبلاج المنطقة المنخفضة قليلة الانحدار بشكل عام والتى عادة ما تتكون من رواسب رملــية Arenaceosus وحصوية Rudaceous وذلك فيما بين خط المد الربيعى وأقصى نقطة تصل إليها أمواج العواصف البحرية Storm waves.

ويتمثل الشكل النموذجى للبلاد فى نطاق شاطئ مقعر تقعراً خفيفاً Gentle concave بحيث يبدو خط الشاطئ منحنياً انحناءات خفيفة تجاه البحر، وتحده الكثبان الرملية الساحلية فى الظهر اليابس وتتدرج رواسبه مصنفة من الأخشن إلى الأقل خشونة إلى الأنعم باتجاه خط الشاطئ. حيث يبدأ قرب الشاطئ الخلفى بترسبات حصوية تليه تجاه البحر ترسبات رملية خشنة تختلط بها مفتتات صدفية وبعض الحصى مع ظهور نباتات بحرية قرب منطقة الجزر. (Monkhouse, F.J., 1970).

وتعــد الأمواج العامل الرئيسى الذى يقوم بتشكيلها وذلك بفعل ما يتولد عن قدومها من تيارات تعمل بدورها على تحريك الرواسب تقدما وتقهقراً أمام الشاطئ مع الأخذ فى الاعتبار أن تلك الأمــواج ليس لها دور يذكر فى تشكيل الملامح والأشكال الأرضية الإرسابية التى تظهر عند منسوب يعلو مستوى المد المرتفع.



لوحة (٤٨) بلاج رملى مع وضوح مسطاح الشاطئ

وقد أثبتت تجارب Jennings فى صــهاريج الأمــواج Wave Tanks أن انحــناءات البلاجات الرملية تنتج عن فعل الأمواج دون مساعدة أى عامل آخر وإن كان فى ذلك يتجاهل عمليات أخرى مؤثــرة (راجــع محمد صبرى محسوب، ٢٠٠١، ص٣٥٣) لوحة (٤٨).

بالنســبة لكيفــية قــيام الأمــواج بتكوين وتشكيل البلاجات يرى البعض أن اقترابها – أى الأمواج – مــن البلاج على شاطئ غير منتظم يؤدى إلى انحراف جمها بدرجة تجعل جبهاتها – خطوط القمم Crests line – تلتف موازية لخط الشاطئ مما يؤدى إلى تشتت للطاقة وتوليد تيار متحرك باتجاه خط الشاطئ المقعر (المنحنى إلى الداخل فى شكل خليج) يتسبب عنه نقص فى الطاقة وحدوث ترسيب على البلاج (Morisawa, M. 1976, p. 193).

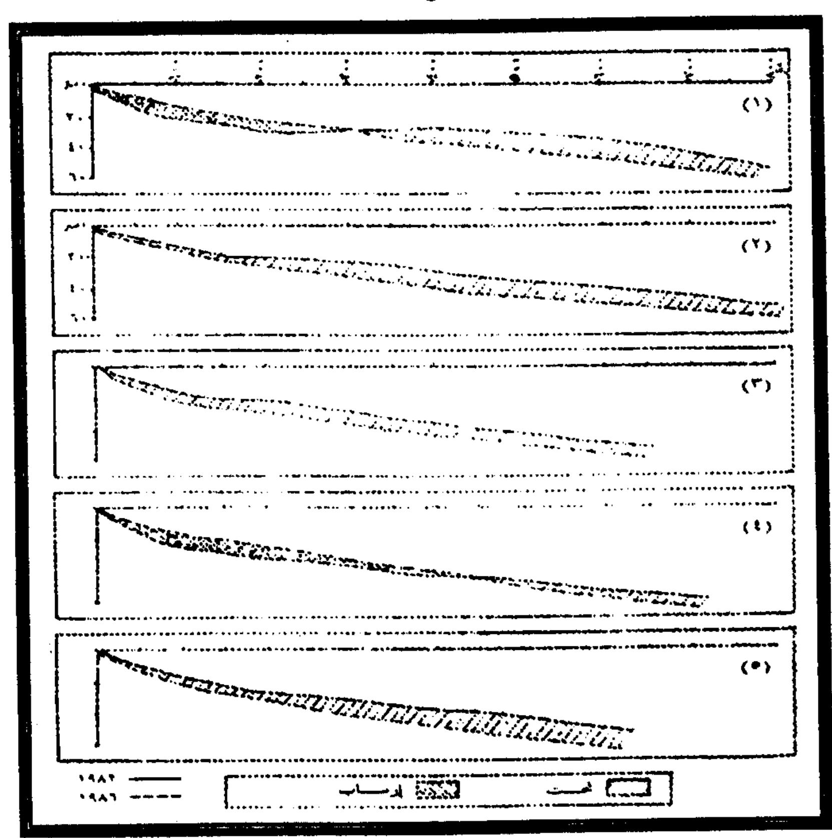
وتتأثر البلاجات المكشوفة للأمواج باتجاه وقوة وتكرار الرياح الشاطئية Onshore winds المحلــية مــن جانب وباختلاف المسطح الذى تتحرك فوقه الأمواج من جانب آخر، إلى جانب تأثرها بدرجة انحراف الأمواج المقتربة كما أوضحنا آنفاً.

وكثيراً ما تتعرض البلاجات للتعديل وأحياناً للإزالة عندما تتعرض للأمواج المدمرة، كما أن قطاع البلاج يتعدل كذلك بسبب التذبذبات التي يتعرض لها منسوب سطح البحر، حيث يؤدى الغمر البحرى إلى تراجع الشاطئ، بينما يؤدى انحسار مياه البحر إلى انكشافه وتعرضه لعمليات وظروف طبيعية عديدة.

ونظراً لتغير معالم البلاج وإمكانية تعرضه للإزالة بفعل الأمواج والتي قد تعيد ما إزالته من رواسب في شكل أشرطة رملية تبرز في نطاق الشاطئ القريب في فترات الجزر، فانه من الأهمية بمكان عمل قياسات ميدانية بقطاعات البلاج في فترات محددة من السنة لتتبع التغيرات التي يتعرض لها، حيث تعطى هذه القياسات صورة واضحة للتغيرات في منطقة الشاطئ الأمامي والشاطئ القريب وتعكس بدورها آثار العمليات البحرية من نحت وإرساب بحيث يمكن من خلال عمل القطاعات تحديد المناطق التي تتعرض للنحت وتلك التي تتعرض للإرساب والتقدم باتجاه البحر.

فعلى سبيل المثال قامت هيئة حماية الشواطئ في مصر بتغطية المسافة بين أبو قير حتى بورسعيد بنحو ٨٠ قطاعاً وذلك منذ عام ١٩٧١م، ويتم متابعتها مرة أو مرتين سنوياً، وتمتد هذه القطاعات بين ما يعرف بخط القاعدة وهو خط وهمي يمتد بالزيادة والنقص في موازاة خط الشاطئ ممتداً باتجاه البحر حتى عمق نحو ستة أمتار (Fanous, A. 1992, p. 4).

وفي دراسة لرمضان نوفل ١٩٩٤م، بقطاعات على حواجز المنزلة والبرلس والبردويل استدل على خصائص قطاعات الشاطئ وتغيراتها خلال فترات زمنية قصيرة خاصة مع التدخلات البشرية المباشرة وغير المباشرة (للاستزادة، رمضان عبد الحميد نوفل، المرجع السابق، ص ص١٥٠- ١٦٥). شكل (٧٢).



شكل (٧٣) قطاعات الشاطئ لساحل الدلتا المصرية

وعادة ما يتم القياس من نقط تثبت عندها أوتاد (شواخص) فى جبهة الشاطئ على طول امتداد القطاعات الممسوحة، وجدير بالذكر أنه قد تطورت أجهزة عديدة لقياس قطاع الشاطئ Beach profile بشـــكل مباشر، حيث يتم تحريكها بعجلات على الشاطئ، وقد صمم Willeams 1947 وسيلة لقياس قطاعات البلاج(الشاطئ)، من الصور الجوية عن طريق خط الماء (خط الشاطئ) Water Line وطريقة شفافية الأمواجWave transparency والثالثة تتضمن قياسات من خلال تغيرات تتعرض لها الأمواج القادمة ويتمثل فى تغيرات فى طول الموجه وسرعتها فى المياه الضحلة وبشكل عام فإن طرق قياس قطاع البلاج من الصور الجوية التى ذكرها Williams تفتقر للدقة وتحتاج لصور جوية جيدة وتحتاج إلى جهود كبيرة فى التحليل والمتابعة.

وعادة ما تحتاج البلاجات ذات الفارق المدى الضيق لأجهزة قياس أكثر تعقيدا حيث يتم عمل القطاعـــات حتى نطاق الشاطئ الخارجى وتحتاج لقوارب وعمل فنى متكامل.ومن الوسائل التى ضمت لهذه القياسات ما قام به Zwamborn 1972 من استخدام مركب تزلج مجهز بسابر للأغوار Echo Sounder يمكن أن يتحرك خلال منطقة التكسر Breaking Zone.

ويمكـــن للـــدارس المـــيدانى أن يقوم بعمل قطاعات للسهل الساحلى بداية من خط الشاطئ أو مـــا دونـــه فى نطاق الشاطئ القريب حتى النهاية الداخلية للساحل- باتجاه اليابس- وذلك لدراسة الخصـــائص المورفولوجـــية للســـهل الســـاحلى وإظهـــار أهـــم الملامـــح والأشكال التى يتميز بها. وتتمثل الخطوات التى يمكن اتخاذها لرسم القطاع الساحلى على النحو التالى :

- يتم رسم القطاع عادة فى وضع متعامد على خط الشاطئ.
- يقوم بعمل القطاع اكثر من شخص.
- تســـتخدم أدوات القياس المعروفة مثل شريط القياس والشواخص بجانب خريطة تفصيلية للمنطقة الساحلية ونوتة الحقل وميزان ابنى ليفل والبوصلة والكاميرا وآكياس خاصة لجمع عينات الرواسب وغيرها..
- تقســـيم القطـــاع حسب تغير درجة الانحدار أو تبعا لانقطاعه بامتداد بركة مائية أو كثيب رملى وغيرها مع بدء القياس من خط الشاطئ باتجاه اليابس.
- تسجيل الملامح والأشكال الدقيقة على طول امتداد القطاع.

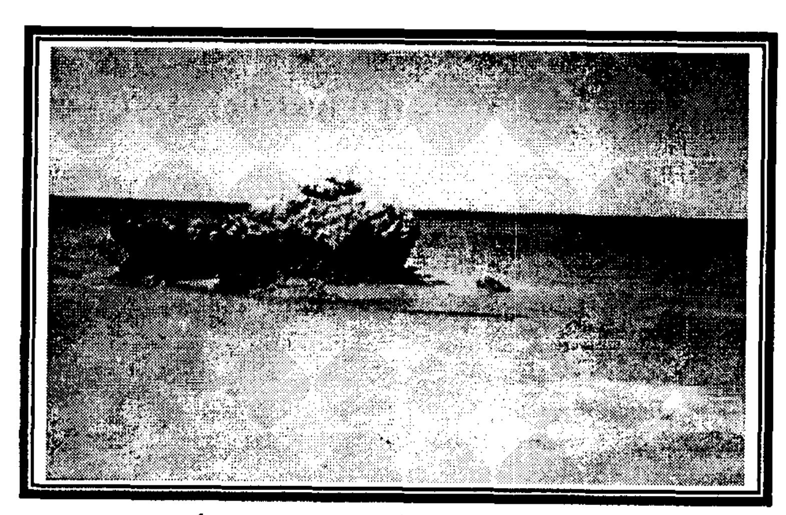
(للاستزادة راجع احمد سالم، ١٩٩٩، ص ١٥٠- ١٥٤).

وقـــد قام المؤلف الأول بقياسات ميدانية على قطاعات من الساحل الدلتاوى فى مصر خاصة على ســـاحل حاجـــز بحيرة المنزلة والعديد من الملامح والأشكال المرتبطة بساحله البحرى والبحيرى وكذلك قام بدراســـة تضـــمنت العديد من القياسات الميدانية لمنطقة بحيرات مطروح (محمد صبرى محسوب، ١٩٩٤) يمكن الرجوع إليها.

خامساً : بعض الأشكال الساحلية والملاحظات والقياسات الميدانية:

(أ) أشكال ساحلية ناتجة عن النحت :

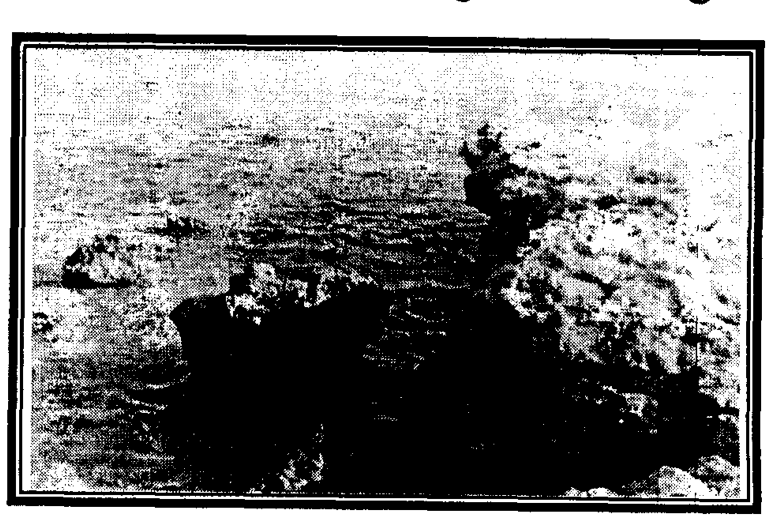
(١) المسلات والأقواس :



لوحة (٤٩) مسلة متبقية أمام جرف على ساحل أبو درج بالجانب الغربي لخليج السويس

تختلف أشكال وأبعاد وكثافة المسلات التي تمثل هذه المسلات بقايا متبقية فوق أرصفة الشاطئ مع تراجع هذه الجروف وبعضها تبدو مرتفعة وضيقة وترتفع لمستوى سطح الجرف المتراجع وبعضها يبدو ككتلة صخرية متبقية وكأنها إحدى البيوتات أو التلال المنعزلة لوحة (٤٩) بساحل أبو درج على الساحل الغمرى بخليج السويس التي تمثل كتلة صخرية من صخور جيرية يبدو أثر النحت البحرى أسفلها مع تراجع جوانبها كما يظهر كذلك أثر التجوية المائية والحيوية في تفكك صخورها ولونها الداكن بينما يظهر أعاليها بلونها الفاتح. كذلك يلاحظ كتل وجلاميد صخرية متساقطة مع وجود المسلة عند التقاء الشاطئ الأمامى بمياه الشاطئ القريب الضحل مما يساعد على وصول الأمواج إليها وتعرضها للنحت البحرى.

ويتم دراستها ميدانياً من خلال تحديد نوع صخورها وكثافة الشقوق بها وتحديد مدى تأثرها بعمليات النحت والتجوية والتساقط الصخرى وموضعها بالنسبة لاتجاه الأمواج السائدة ثم قياس أبعادها، الارتفاع وقطر القاعدة وعرضها وانحدار الرصيف الشاطئى التى تبرز فوقه. يلاحظ من اللوحة(٥٠) تراجع جرف منخفض مع تعرضه للتقويض السفلى والنحت وانهيار مقدمته.



لوحة (٥٠) كتلة بحرية منخفضة تتناثر حولها كتل أصغر حجماً فوق رصيف نحت بحرى مغمور بالمياه يظاهرها جرف جيرى منخفض يتضح فيه تأثره نحت الأمواج وسقوط هذه الكتل بعد تعرضه للتقويض السفلى وذلك بالساحل الشرقى لدشة الضبعة بالبحر الأحمر

بالنسبة للأقواس البحرية إذا ما وجدت على ساحل صخرى يمكن دراستها ميدانيا من خلال قـــياس أبعادهـــا المختلفة وتحديد علاقتها بالشقوق وخصائص الصخور التى نشأت بها بجانب ربطها بعمليات النحت البحرى خاصة الأمواج والتى تمثل العامل الرئيسى فى تكونها. وتوضح اللوحة (٥١) كهف بحرى تتساقط أمامه كتل صخرية على ساحل البحر الأحمر.

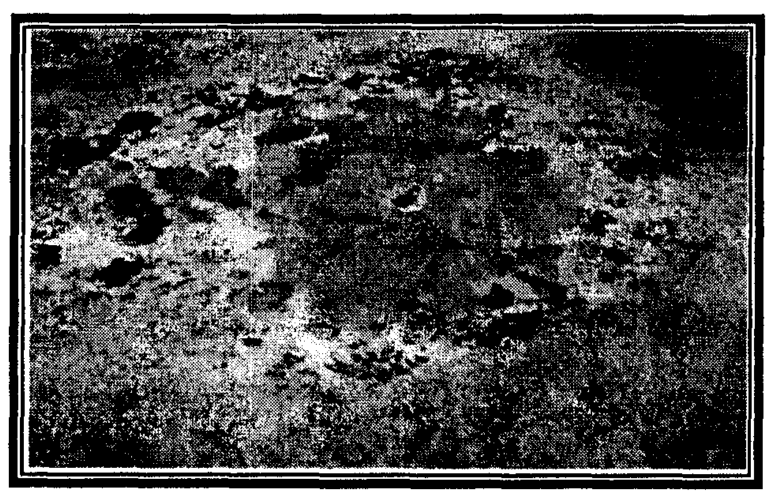


لوحة (٥١) كهف بحرى تتساقط أمامه كتل صخرية على ساحل البحر الأحمر ذو فتحة بيضية باتجاه نحو الداخل وذلك فى جرف من الصخور الشعابية على الجانب الغربى لرأس أبو حصيرة بالبحر الأحمر يمكن قياس أبعاده ميدانياً واتساع الرصيف أمامه وارتفاع الجرف المرتبطة به وغيرها من الخصائص المختلفة.

يتمثل أهمها فى القنوات المدية Tidal creeks والبرك المدية وحفر التجوية والحفر الوعائية Plotholes بالنسبة للقنوات المدية فهى فى القواقع تعد من أكثر الملامح المورفولوجية وضوحاً فى مسطحات المد وكذلك فى نطاق الشجنات المرتفعة والتى قد تمتد منها باتجاه البحر لتظهر فوق المسطحات المدية الداخلية Inter tidal flats.

وتـــبدو القـــنوات المدية فى شكل شبكة من الروافد تتحرك خلالها المياه وتحيط بها الجسور الطبيعية Natnral levees بقنواتها المائية ويمكن ميدانيا قياس أطوال هذه القنوات وعمل قطاعات عرضية بها، وكذلك يمكن الحصول على رواسب من الجسور الطبيعية- وهى عادة ما تكون اكثر خشونة من رواســـب قاع القناة المدية- كما يمكن ملاحظة الانهيارات التى تتعرض لها هذه الجوانب- الجسور - وما ينتج عن انغلاق القناة المدية من تكون برك. كذلك يمكن جمع أنواع النباتات التى تنمو بالقنوات المديـــة وكذلك الأحياء التى تعيش بها وذلك لدورها جميعا فى تشكيل هذه القنوات (للاستزادة راجع محمد صبرى محسوب، ٢٠٠٢ص ٩٠- ٩٦).

أما بالنسبة للبرك أو البقع صغيرة المساحة والتى عادة ما تكون خالية من النباتات، فتتكون عادة عـــندما تظهر جزيرات نباتية فوق سطح السبخة بحيث تترك فيما بينها تلك البقع الموضعية التى غالبا ما تتبقى بها مياه البحر بعد عمليات انحسارها عند الجزر وفى خلال شهور الحر وزيادة فعالية التبخر وسيادة الجفاف تتراكم فوق تلك البرك قشور ملحية بينما تنمو بها نباتات فى أعقاب سقوط المطر، كما أنها تمثل فى حالة المد المرتفع مناطق لصيد بعض الأحياء البحرية وذلك فى الشواطئ الرملية والطينية. بينما عندما تظهر فى الشواطئ الصخرية فإنها تكون مأوى لبعض الحشرات وتكون خالية من النمو النباتى لوحة (٥٢).



لوحة (٥٣) بركة ملحية ممتلئة بالمياه على رصيف مرجانى
بساحل جيزان على البحر الأحمر

وكـــثيراً مـــا تظهر حفر دائرية فى موضع شقوق صخرية واضحة فى رصيف الشاطئ تمتلئ بالحصى والجلاميد التى لعبت دورها فى حفرها مع تولد دوامات مائية مع تعاقب عمليات المد والجزر.

وهـــناك ملامح أخرى مثل المتاريس الصخرية **Ramparts** التى تظهر فوق رصيف الشاطئ بارتفاع ما بين المتر واكثر من متر ونصف تقريبا والتى عادة ما تظهر قرب جبهته البحرية وإذا ما وجدت يمكن تحديد امتدادها وجملها نتاج تعاقب صخرى (لين صلب) أم بسبب ضعف عمليات النحت البحرى، وهناك كذلك رصيف الشاطئ **Ramps** والتى تظهر بارزة عند أقدام الجرف البحرى المتراجع، ويمكن تحديد ارتفاعها وانحدارها تجاه البحر وتحديد اثر الأمواج فى صقل أسطحها وذلك من أثارها.

(٣) الألسنة والمسننات الشاطئية : Spits and Cusp

كما عرفنا فان اللسان الرملى عبارة عن تراكمات رملية أو حصوية طويلة وضيقة مع ارتباط أحـــد طرفـــيها بخط الشاطئ، وهى عادة ما تكون بفعل الأمواج البانية، بينما توجد الألسنة الحصوية حيثما تسود الأمواج المدمرة، وعادة ما تنتهى أطرافها بانحناءة واضحة وذلك أما بسبب حدوث تغير فى اتجاهات الرياح السائدة أو بسبب انحراف الأمواج عند نهاية اللسان حاملة معها بعض المواد حول الطـــرف ثم إلى المياه المحمية فيما بين اللسان واليابس وتتراوح أبعاد الألسنة من بضع عشر من الأمتار طولا وبضعة أمتار عرضا إلى عدة كيلو مترات طولاً وعرضاً.

ومن الألسنة الرملية الرئيسية على الساحل المصرى لسان دمياط والذى لم يكن له وجود قبل عام ١٩٥٥ (محمد صبرى محسوب، ٢٠٠١، ص ٢٤٣).

وإذا ما كان يمكن تتبع تطور أبعـاده مـن تتبع سلسلة من الخرائط الطبوغرافـية كـبيرة المقياس لفترات زمنـية متـباعدة نسبيا أو من خلال سلسـلة من الصور الجوية فانه يمكن عمـل بعـض القياسات الميدانية مثل قياس انحدارات السطح وتحليل عينات من الرواسب المضافة عند أطرافه وغير ذلـك من قياسات. ويمكن قياس أبعاد الألسـنة الصـغيرة وخصـائص رواسبها وأشكالها وعلاقات اتجاه محاورها مع اتجاه الرياح السائدة والأمـواج الرئيسية المسبب الرئيسى لها لوحة (٥٣) التى توضح امتداد لسان القردود الحصوى بأبو جالوم على ساحل خليج العقبة فى سيناء والتى يلاحظ منها عدم انتظام شواطئه مع تعرجها الواضح واستواء سطحه وضحولة المياه المحيطة به مع خشونة رواسبه السطحية.

لوحة (٥٣) لسان القردود الحصوى لساحل محمية أبو جالوم على خليج العقبة

وهـناك السـنة حصـوية متماسـكة هى فى الواقع نتاج تعرض سـاحل مـتعرج للنحت تاركة تلك النـتوءات الضـيقة والدقيقة تبدو فى شـكل السنة حصوية وهى تختلف فى نشـأتها عن نشأة الألسنة بشكل عام ولا تخضـع لعملـيات ترسيب أو نمو بـنفس الكيفـية التى تنمو بها الألسنة الرملية وان كان هذا الأمر لا يمنع من حجزها للرواسب المتحركة على طول الشاطئ كما يظهر ذلك فى اللوحة (٥٤) التى توضح بقايا نحت شاطئ حصوى فى ساحل أبو درج غربى خليج السويس.



لوحة (٥٤) لسان حصوى متماسك يمثل بقايا نحت تعرض لها شاطئ حصوى لساحل أبو درج على الجانب الغربى خليج السويس

وتوضـــح اللوحـــة (٥٥) لسان رملى معقوف **Reserved spit** صغير على ساحل رأس الضبعة بالبحر الأحمر- يمكن قياس أبعاده واتجاهاته ميدانياً بسهولة ويسر.



لوحة (٥٥) لسان رملى معقوف صغير الحجم لساحل رأس الضبعة بالبحر الأحمر

وهـــناك ظاهرة المسننات والتى عادة ما تظهر على السواحل الرملية والحصوية، وقد أرجعها كل من **Russel, R., and Maclintire, 1965** إلى وجود تتابع منتظم لمخفضات نصف دائرية عـــادة مـــا تزيد أعماقها على مترين، وقد يرتفع الجزء العلوى لهذه المسننات على ٣٠ متراً وقد يصـــل امتدادها فى البحر إلى خمسة أمتار وذلك على الشواطئ الزلطية بها قد يمتد إلى اكثر من ذلك بكثير فى الشواطئ الرملية التى تتشكل بها(سباركس، ترجمة ليلى عثمان، ١٩، ص ٣١).

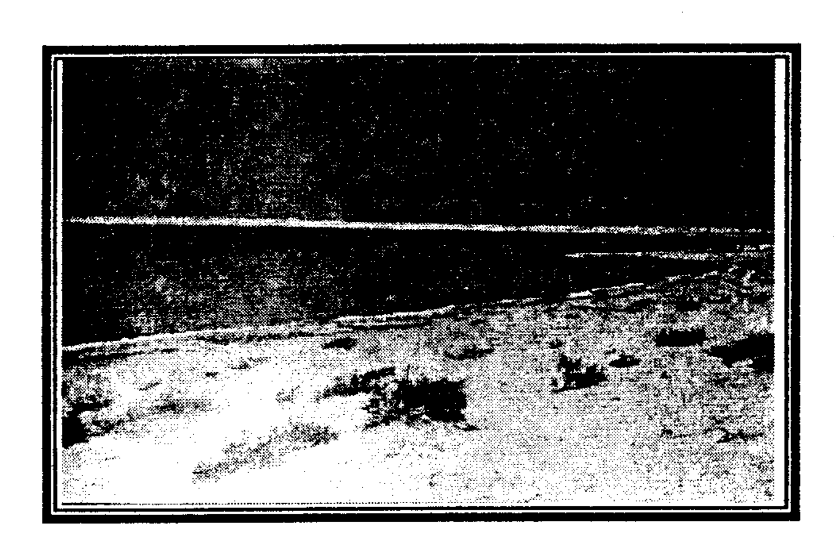
وتمـــثل المنخفضـــات البينـــية مجالا لتقدم وتـــراجع مـــياه الحفرية مع تركز الارتداد الموجى فى منتصف الحوض بين زوجين من المسننات وذلك فى شـــكل تيار مازق يساعد بدوره على زيادة عمق هـــذه الأحـــواض وبالتالى زيادة وضوح المسننات شكل (٧٣) الذى يبين إحدى المسننات النموذجية على ساحل سيدنى باستراليا.

شكل (٧٣) أحد المسننات لساحل شرق أستراليا

وتظهر المسننات والتى أحيانا ما تسمى ضروس الشاطئ على طول قطاعات مد ساحل الدلتا المصـــرية وهـــى صـــغيرة الأبعاد وكذلك فى بعض المواقع على ساحل خليج السويس والبحر الأحمر وبحيرات مرسى مطروح- قبل تعديل شواطئها.

ويمكن ميدانياً قياس أبعادها ومساحاتها وانحدارات أسطحها وتباعدها ومدى تمايلها على طول امـــتداد الشاطئ وملاحظة درجات تأثرها بالعمليات البحرية السائدة، وتوضح اللوحة (٥٦) مسنن شاطئ رملي بالشاطئ الجنوبي لدشة الضبعة.

كمـــا تظهر اللوحة (٥٧) لأجون صغير للغاية على شاطئ رملي بساحل الغردقة يبدو غير متصل بالبحر حيث يفصله عن حاجز رملي بارتفاع لا يزيد على نصف متر فوق مستوى سطح البحر.



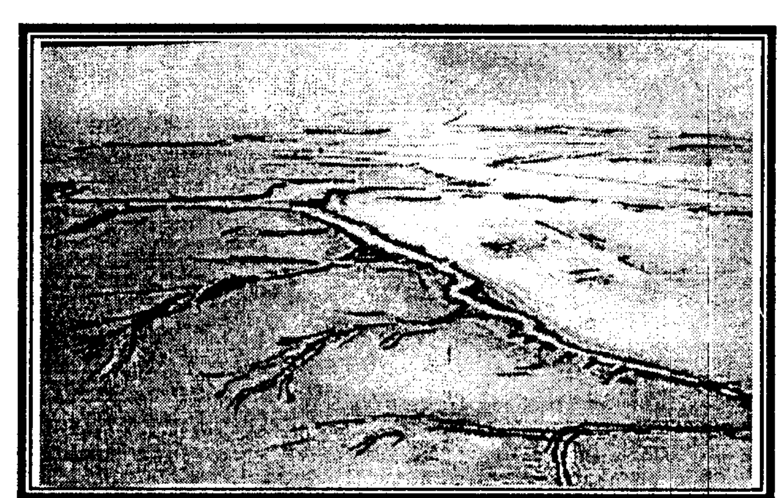
لوحة (٥٦) مسنن شاطئ رملي بالشاطئ الجنوبي لدشة الضبعة على البحر الأحمر.



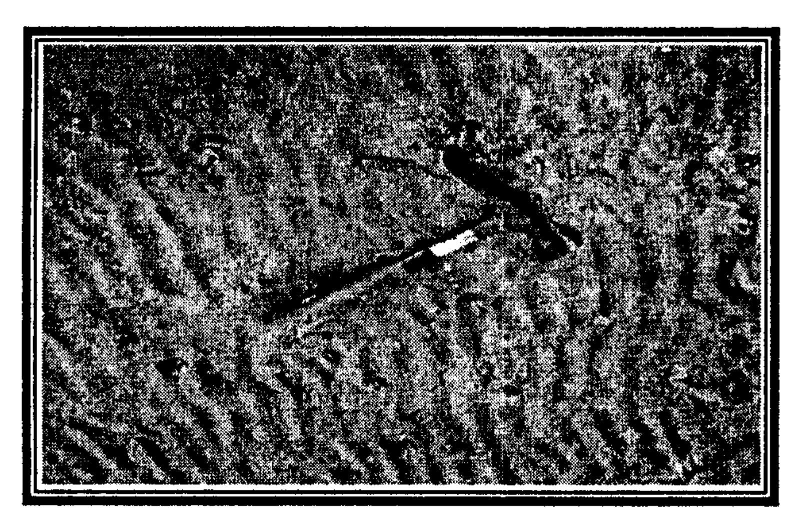
لوحة (٥٧) لاجون صغير للغاية على شاطئ رملي بساحل الغردقة

ويظهر من اللوحة (٥٨) جزء من سطح جزيرة بوبيان الكويتية تقطعه قنوات مدية واضحة المعالم والأبعاد.

لوحـــة (٥٩) تظهر تيم الأمواج Wave ripples بساحل جدة السعودى على البحر الأحمر يلاحظ تعرجها وتماسكها بفعل الأمواج بعد تبخر مياه البلاج أثناء الجذر.



لوحة (٥٨) جزء من سطح جزيرة بوبيان الكويتية تقطعه قنوات مدية واضحة المعالم



لوحة (٥٩) نيم الأمواج *Wave Ripples* لساحل جدة السعودى على البحر الأحمر

الفصل الثامن

تحليل الرواسب

أولاً : أنواع العينات وطرق جمعها.

ثانياً : أنواع التحليل.

١) التحليل الحجمى.

٢) التحليل الشكلى.

٣) التحليل الكيميائى.

مقدمة :

يُعد استخدام العينات وإجراء التحليلات المعملية المختلفة عليها من الأشياء الهامة بالنسبة للجيومورفولوجين، ولكي تحقق هذه الأهمية فلابد للباحث أن يلم بأهم وسائل التحليل المعملية والجوانب المختلفة للتحليل، وعليه أيضاً الاستفادة والاستعانة بالآخرين المهتمين بموضوع التحليل (الجيولوجيين – الزراعيين ..... إلخ)، حتى يخرج الباحث بنتائج أكثر دقة وعليه أيضاً أن يجمع العينات المختلفة التى تفيده فى بحثه الذى يخرجه على منطقة دراسته، ليس هذا فحسب بل عليه أن يحدد مسبقاً أهمية هذه العينات والهدف من تحليلها ووسيلة التحليل ونوع التحليل الذى يستخدمه. حتى أخذ العينات اللازمة والمناسبة لكل تحليل من التحليلات التى يقوم بها الباحث.

أنواع العينات :

تنقسم العينات التى يتم بها الجيومورفولوجين إلى الآتى :

١) عينات صخرية.

٢) عينات رواسب ومفتتات سطحية.

أما بالنسبة للعينات الصخرية والتى تهم الباحث فى معرفة التكوينات المعدنية، مما يفيد فى تفسير طبيعة وكيفية استجابتها لعمليات التجوية والتحلل وعوامل النحت والتعرية المختلفة.

ويتم أخذ عينة صخرية معروفة أو غير معروفة باستخدام الشاكوش الجيولوجى فى تكسير العينة بحيث تكون غير متأثرة بالتفكك والتحلل كلما أمكن ذلك.

أما النوع الثانى من العينات فهى الرواسب والمفتتات السطحية لاسيما ذات الأحجام التى يمكن تحليلها معملياً، أما ما يخص الجلاميد والحصى الكبير فيتم إجراء بعض القياسات والملاحظات الميدانية عليها دون أخذها، أما الرواسب الأخرى التى يتم أخذ عينات فى أكياس منها ليتم تحليلها معملياً فهى ذات الأحجام التى وضعها *Wentworth* فى فئة الرمال والحصى والطمى والصلصال مثل التى توجد فى الشواطئ والمراوح الفيضية ومخروطات الهشيم وجوانب التلال والهضاب والتجمعات الرملية بأشكالها المختلفة وقيعان الأودية ومصاطب الأودية ... وغيرها.

طريقة جمع العينات :

قبل الخوض فى تحليل العينات، نلقى بالضوء على جمع العينات من خلال الظاهرات الجيومورفولوجية المختلفة، فعلى سبيل المثال تؤخذ عينات المراوح الفيضية من داخل جسم المروحة على عمق يصل إلى ٥٠سم حتى تكون ممثلة لرواسب المراوح خير تمثيل وتستبعد الرواسب السطحية حيث تزيد بها نسبة الرواسب الحديثة والرواسب الهوائية مما قد يعطى نتائج مضللة كذلك يتم أخذ العينات من ثلاثة أجزاء من المروحة من قمة المروحة ومن وسط المروحة ومن أدنى المروحة حتى توضح مدى التباين على طول المراوح، وبالتالى تكون نتائج التحليل دقيقة ومعبرة لاسيما وأن هناك تباين فى أحجام وأشكال الرواسب على طول المراوح. أما المدرجات النهرية فيؤخذ من داخل كل مدرج وعلى عمق يصل إلى ٥٠سم وتؤخذ العينة كما هى دون فصل للأحجام الكبيرة والدقيقة قبل إجراء عملية التحليل، أما عينات الكثبان الرملية فتختلف حسب نوع الكثيب، ولكن الشئ المتفق عليه هو أخذ العينات من جسم الكثيب ومن مواضع مختلفة [مقدمة – وسط – نهاية الكثيب]، كما هو فى رواسب النباك.

أما الرواسب الشاطئية فهذه تتطلب مهارة خاصة فى أخذ العينات نظراً لكونها قد تغطى بالمياه مثل رواسب الألسنة والحواجز والمسننات الشاطئية والسبخات وغيرها، ولذلك تؤخذ العينة من العمق دون السطح ثم تؤخذ ويتم تجفيفها معملياً قبل إجراء عملية التحليل لها.

... وبصفة عامة يمكن القول بأن عينات الأشكال الجيومورفولوجية تؤخذ من جسم الشكل نفسه، وبعيداً عن السطح وفى مواضع مختلفة حسب رؤية الباحث والغرض من جمع هذه العينات (ماذا تقدم له من إضافات)، وتوضع فى أكياس ويكتب عليها موقع العينة ورقمها حتى يسهل التعامل معها.

وفيما يلى قائمة بمقياس الأحجام طبقاً لتصنيف كل من ***Undden and Wentworth (1922)***، ***(Mcmanus, J., 1988, p.74)*** :

جدول (١٥) مقياس الأحجام طبقاً لتصنيف *Wentworth*

تقسيم الرواسب حسب أحجامها	الحجم بوحدة فاى Phi	الحجم بوحدة ملمتر mm	تقسيم ثانوى للرواسب حسب أحجامها	
جلاميد Cobbles	-١١	٢٠٤٨	Boulder	ضخم جداً
	-١٠	١٠٢٤		ضخم
	-٩	٥١٢		متوسط
	-٨	٢٥٦		صغير
	-٧	١٢٨	Cobbles	(كبير . صغير)
زلط Pebbles	-٦	٦٤	Pebbles	خشن جداً
	-٥	٣٢		خشن
	-٤	١٦		متوسط
	-٣	٨		ناعم
	-٢	٤		ناعم جداً
رمل Sand	-١	٢	Sand	خشن جداً
	صفر	١		خشن
	١	٥٠٠		متوسط
	٢	٢٥٠		ناعم
	٣	١٢٥		ناعم جداً
طمى Silt	٤	٦٢	Silt	خشن جداً
	٥	٣١		خشن
	٦	١٦		متوسط
	٧	٨		ناعم
	٨	٤		ناعم جداً
طين Mud	٩	٢		طين

After : Macmanus, J., 1988.

لماذا يتم تحليل العينات ؟

يهدف تحليل العينات مقارنتها بالصخور الأصلية ومعرفة ما إذا كانت منقولة أو محلية. كذلك قد يهدف الباحث التى تتبع العمليات الكيميائية الميكانيكية التى تأثرت بها الرواسب.

أنواع التحليل :

١) التحليل الحجمى *Grain Size Analysis*.

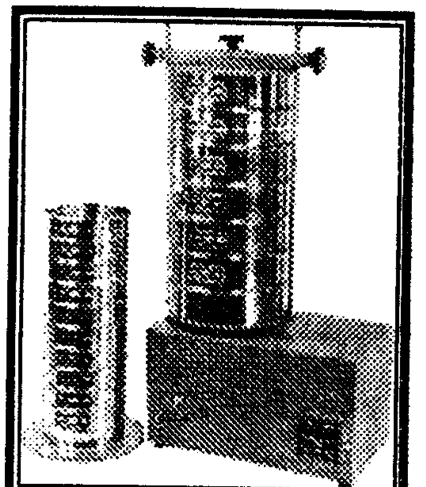
٢) التحليل الشكلى.

٣) التحليل المعدنى "الكيماوى".

٤) التحليل الميكروسكوبى.

أولاً : التحليل الحجمى للرواسب :

حيـــث يتم تصنيف الرواسب إلى مجموعة أصناف حسب أحجامها المختلفة وينقسم التحليل الحجمى إلى ثلاث أو أربعة أقسام حسب طبيعة وأحجام الرواسب كالتالى :



لوحة (٦٠) المنخل الكهربائى

١) بالنســـبة لأحجام الرواسب الكبيرة أكثر من ٢٥٦ مليمتر (الحصـــى والحصـــباء والجلاميد) فيتم قياس أحجامها ميدانياً عن طريق قياس أبعاد الحبيبة (الطول – العرض – السمك)، ومن خلال هذه القياسات يتم وصف أحجام تلك الرواسب.

٢) بالنسبة لأحجام الرواسب أقل من ٢٥٦ مليمتر فيتم إتباع نظـــام الغـــربلة *Sieving* لاسيما بالنسبة للرواسب الجافة(*) وتتم هذه الطريقة فى الخطوات التالية :

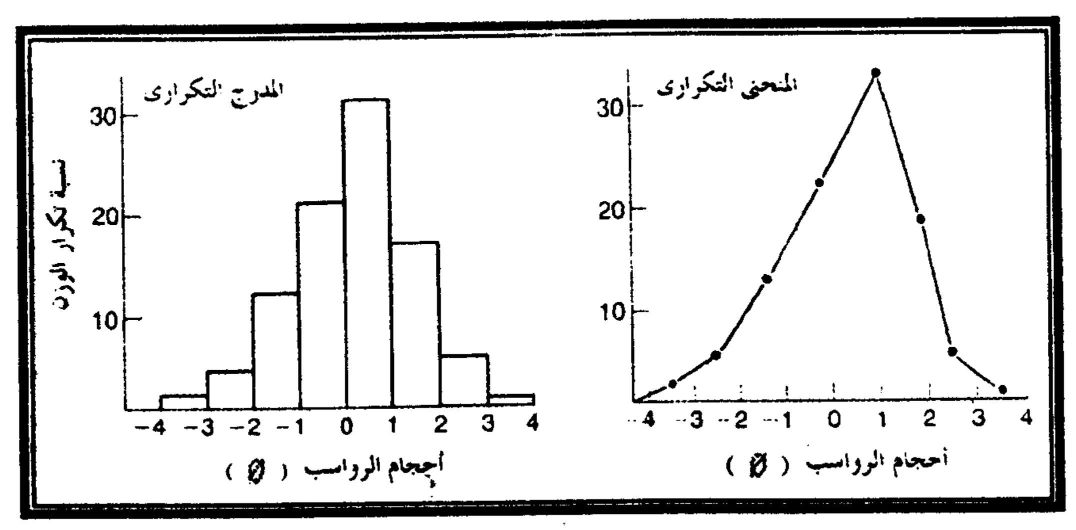
- يتم أخذ عينة التحليل لا يقل وزنها عن ١٠٠جم.
- توضـــع العينة بعد وزنها باستخدام ميزان كهربائى فى الغربال العلوى من مجموعة الغرابيل المتابعة رأسياً لوحة (٦٠) والتى تتدرج فتحاتها من أعلى لأسفل بحيث يكون الغربال السفلى هو أضيق الفتحات.

٣) تستمر عملية الغربلة الكهربية للعينة لمدة تتراوح ما بين ١٠ – ٢٠ دقيقة.

٤) يـــتم تفريغ كل غربال ووزنه، ثم يحسب مجموع أوزان كل العينة التى تم غربلتها، ثم تحسب نسبة كل وزن من وزن العينة الإجمالى.

٥) يتم رسم منحنى بيانى لوزن العينات بأحجامها المختلفة كالتالى : (التمثيل الشكلى)(٧٤)

(*) فى حالـــة ما إذا كانت الرواسب رطبة أو لينة مثل رواسب الشواطئ والسبخات والبحيرات والأشكال الشاطئية (ألسنة – مسننات – حواجـــز ... إلخ) فيتم فى هذه الحالة تجفيف العينات بوضعها داخل أفران مخصصة لهذا الغرض تحت درجة حرارة معينة ولفترة محددة تتراوح ما بين ١٠ – ٢٠ دقيقة، بعدها يتم وضع العينات فى نظام الغربلة الجاف Dry Sieving، وقد استخدم المؤلف هذه الطريقة فى تحليل أحجام رواسب السبخات والرواسب الشاطئية أثناء دراسته لساحل البحر الأحمر ٢٠٠٤



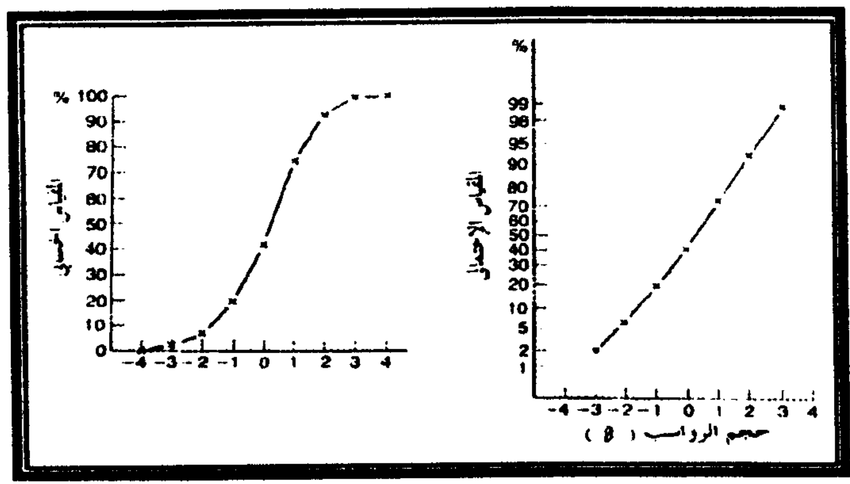
شكل (٧٤) المدرج والمنحنى التكراري لتوزيع أحجام الرواسب

ملاحظـــة أنـــه فى نهايـــة تحليل العينات والانتهاء من مرحلة الفصل والوزن يتم استخدام ما يسمى بالوزن المتجمع الصاعد أو توقيع أحجام الرواسب ونسبة وزنها على وزق *(Phi)* (*) كالتالى:

أما الشكل التالى (٧٥) فيوضح تمثيل توزيع أحجام رواسب عينة على ورق *(Phi)* عن طريق استخدام المنحنى المتجمع الصاعد باستخدام القياس الحسابى والمتوقع ***Probability Scale***.

مـــن خلال الأشكال السابقة يتم إجراء بعض التحليلات التى توضح خصائص المنحنى والتى تستخرج من الأشكال البيانية التى تم رسمها، عن طريق استخدام بعض المعادلات التى يمكن تقسيمها إلى أربعة فئات هى :

- توزيع الأحجام حسب المتوسط
- توزيع معين عن المتوسط.
- طبيعة نوع التوزيع لحجم معين عن المتوسط.
- التفلطح أو درجة التمركز الأحجام بالنسبة للحجم المركزى.



شكل (٧٥) المنحنى المتجمع الصاعد لتوزيع أحجام الرواسب

(*) Phi = –لو ٢مم

(أ) قياس الحجم الشائع ومتوسط الحجم :

يتم قياس الحجم الشائع ومتوسط الحجم باستخدام الوحدات الإحصائية التقليدية مثل **المدى** والـذى يمـثل أكـثر نسبة توزيع من أحجام الرواسب وتظهر على الشكل فى صورة الأعمدة البيانية الأكـثر ارتفاعـاً وتمثـيلاً، أو ما يطلق عليه أكثر الفئات شيوعاً، ويشير التوزيع ذو المدى الواحد إلى ظروف ترسيب معينة وطبيعة الرواسب مع الاختلاف فى حالة التوزيع متعدد المدى.

ويشير مكمانيوس *(Mcmanus, J., 1988, p.76)* إلى أن استخدام المنحنيات التكرارية لرواسب مختلفة تُظهِر قمم متعددة، كما تشير المدى المتعدد إلى وجود أكثر من توزيع لنوع الرواسب الواحدة.

هـذا وقـد يستخدم بعض الباحثين قيم المدى المطلقة من التوزيع التكرارى لأوزان الأحجام للأحجام المختلفة.

المتوسط *(Md)* :

حيث يبدو منتصف الأحجام الأخشن والنصف الآخر للرواسب الأنعم عن منتصف القطر.

الوسـط *(M)* :

وهو أفضل المقاييس لقياس متوسط حجم الرواسب ويحسب من خلال حساب مجموع أوزان الرواسـب فى فـئة معينة على مجموع وزن الرواسب فى العينة كلها، ويمكن معرفته من خلال الشكل بطريقة أسهل من خلال المعادلة التالية :

$$\text{الوسط } (M) = \frac{١}{٣}\left(\varnothing_{١٦} + \varnothing_{٥٠} + \varnothing_{٨٤}\right)$$

(ب) التوزيع حول المتوسط "التصنيف Ø" : *Sorting*

يظهر فى جميع أشكال التحليل المدى المطلق (الكلى) للأحجام. ولكن من النادر ما يوضح أو يحدد حجم أصغر وأكبر الحبيبات داخل التوزيع نفسه، وهذا من الأهمية حيث يعطى مؤشراً على طبيعة انتشار الرواسب وتوزيعها داخل العينة (تصنيف الرواسب).

ويحسب التصنيف من خلال المعادلة التالية :

$$\text{التصنيف } \mathit{Sorting} = \frac{١}{٢}\left(\frac{\varnothing_{٨٤} - \varnothing_{١٦}}{٢} + \frac{\varnothing_{٩٥} - \varnothing_{٥}}{٣,٣}\right)$$

$$\text{أو } = \frac{\varnothing_{٨٤} - \varnothing_{١٦}}{٤} + \frac{\varnothing_{٩٥} - \varnothing_{٥}}{٦,٦}$$

(Macmanus, 1988, p.77)

ويكـــون أفضل توزيع للرواسب ما يقرب من الحجم الواحد وذو قيم تصنيف منخفضة كما هو موضح بالجدول التالى (١٦) :

جدول (١٦) فئات تصنيف الرواسب

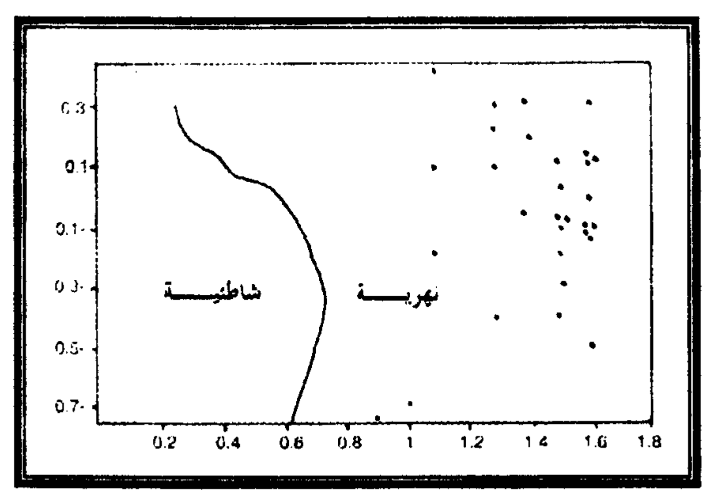
التصنيف	درجة التصنيف	المصطلح الأجنبى
تصنيف جيد جداً	أقل من ٠,٣٥	*Very Well Sorted*
تصنيف جيد	٠,٣٥ – ٠,٥٠	*Well Sorted*
تصنيف شبه جيد	٠,٥٠ – ٠,٧٠	*Moderately Well Sorted*
تصنيف متوسط	٠,٧ – ١,٠	*Moderately Sorted*
تصنيف ضعيف	١,٠ – ٢,٠	*Poorly Sorted*
تصنيف ضعيف جداً	٢,٠ – ٤,٠	*Very Poorly Sorted*
تصنيف أكثر ضعفاً	أكثر من ٤,٠	*Extremely Poorly Sorted*

After : Macmanus, 1988

ولتوضـــيح المعادلة السابقة، نقوم بتطبيقها على رواسب بعض المراوح الفيضية بمنطقة الجلالة القبلية بالصحراء الشرقية – مصر.

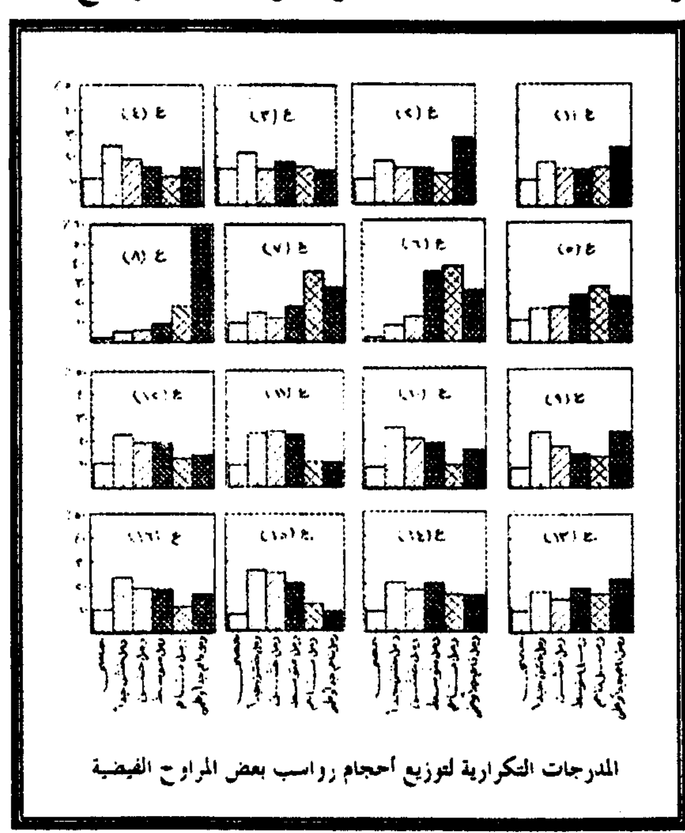
ولـــتحديد خصائص رواسب تلك المراوح تم جمع عدد (٢٧) عينة، تمثل كل عينة جوانب المـــروحة الثلاث؛ (قمة المروحة وأوسط وأدنى المرحة) حتى يتسنى معرفة ظروف ترسيبها وطرق نقلها وخصائص وحجم التصريف بالأحواض المرسبة لهذه المراوح، حيث اتضح أن الأحواض ذات الأودية شديدة الانحدار تغطى رواسب خشنة والعكس صحيح، ومن الجدول (١٦) اتضح ما يلى :

- تمـــيزت رواسب المراوح بصفة عامة بخشونتها حيث يبلغ متوسط الحجم (١,١٥) مليمتر كما أن متوسط أحجام الرواسب الخشنة (٢ – ٢٥٦ مليمتر)، والتى تتشكل من الزلط والجلاميد والحصى والحصباء يبلغ ٨٠٪ فى حين تمثل نسبة المواد الناعمة (أقل من ٢ مليمتر) نسبة الرمل الخشن جداً والخشن والمتوسط إلى ٥٦,٥٪، بينما تشغل الرمال الناعمة والطمى والصلصال نسبة ٢٣,٩٪.
- هذا وقد أشارت العلاقة بين حجم الرواسب والانحراف المعيارى لتوزيع أحجام الرواسب (المراوح) شكل (٧٦)، أنها تتميز بتصنيف ردئ وأن نسبة ٩٢,٦٪ منها رواسب خشنة ومتوسطة مما يشير إلى شدة التيار المائى المرسب مع الأخذ فى الاعتبار ترسيبها دفعة واحدة دون حدوث أى تصنيف للرواسب.



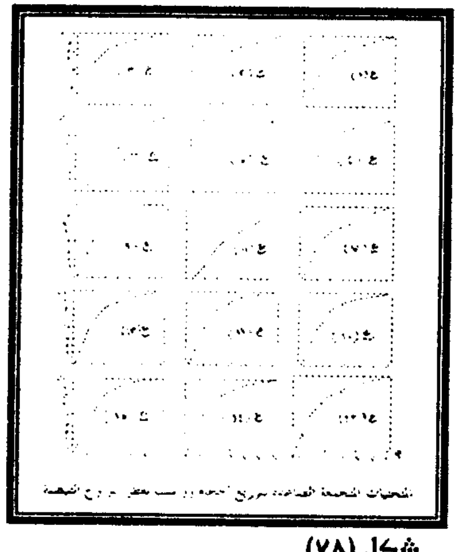
شكل (٧٦) العلاقة بين حجم الرواسب والانحراف المعيارى لرواسب المراوح

كمـــا ترتفع فى المواد الناعمة (أقل من ٢مم) نسبة الرمل الخشن جداً والخشن والمتوسط إلى ٥٦,٥٪، بينما تشغل الرمال الناعمة والطمى والصلصال نسبة ٢٣,٩٪، ومما يؤكد ذلك ارتفاع قيمة معامل الالتواء إلى −٢,٣، ويشير إلى تباين الأحجام وزيادة فى نسبة الأحجام الخشنة فى رواسب المراوح الفيضية، كما ارتفعت أيضاً نســبة المواد الخشنة (من ٢ − ٢٥٦مم) فى رواسب قمم المراوح فبلغت ٩٥٪ فى قمة مروحة أم جراف، فى حين بلغت نسبة المواد الناعمة فى نفس العينة ٥٪، ولكن ما يمكن ملاحظته هنا ارتفاع نسبة الرمل الناعم جداً والطمى والصلصال فى رواسب قمة المروحة ويرجع ذلك إلى ترسيب المواد الخشنة أولاً ثم تداخلـــت بينها تلك المواد الناعمة أثناء عملـــية إرساب لاحقة، أو أنها أرسبت مع نهايـــات الفيضانات عندما تراجعت السرعة بالقدر الذى سمح بإرساب هذه المواد الناعمة بين المواد الخشنة، أو احتمال أنها أرسبت مع بداية الجريان كنتيجة لزيادة الحمولة عن طاقة وقدرة الجريان (أحمد سالم، ١٩٨٩، ص ص ٢٦ − ٢٧).


المدرجات التكرارية لتوزيع أحجام رواسب بعض المراوح الفيضية

شكل (٧٧)

أما الأجزاء الوسطى للمراوح فقد تراوحت نسبة المواد الخشنة بين ٩٣ – ٧٥٪ ورغم ذلك فقد لوحظ زيادة فى نسبة المواد الخشنة (من ٢ – ٢٥٦مم) فى رواسب القطاعات الوسطى لمروحة أسخر فكانت ٩٣,٧٪ فى حين بلغت ٩٢,١٪ فى قمة المروحة، وارتفعت أيضاً نسبة المواد الخشنة فى أواسط مروحة رافد أسخر فكانت ٨٦٪ بينما بلغت ٧٨٪ فى أعالى نفس المروحة، ويرجع ذلك للتغاير فى عملية الترسيب التى قد تحدث نتيجة السيول الضعيفة حيث تم ترسيب المواد الناعمة قرب قمة المروحة. كما يرجع انخفاض نسبة المواد الناعمة بين الخشنة إلى احتمال قيام الرياح بدور فى نقل المواد الناعمة والدقيقة من السطح مع وجود بعض المفتتات من السفوح المجاورة مما يعمل على ارتفاع نسبة المواد الخشنة على حساب المواد الناعمة، أو ترجع إلى طبيعة الجريان التى قد تتم فى شكل غطاءات فيضية لها القدرة على نقل المواد الناعمة وترك المواد الخشنة (أحمد سالم، ١٩٨٩، ص ١٨).



شكل (٧٨)

تزيد نسبة المواد الناعمة (أقل من ٢مم) فى رواسب أدنى المراوح بصفة عامة حيث بلغت ٥٣٪ فى أدنى مروحة أم دمرانة، كما بلغت ٦١,٢٪ فى أدنى مروحة أم جراف فى حين تقل جداً لتصل إلى ١٠٪ فى أدنى مروحة أسخر، ويفسر زيادة نسبة المواد الناعمة فى أدنى المراوح إلى أنها أرسبت بعيداً عن مصادرها بالإضافة إلى أن طول المسافة عمل على تفتت واستدارة الحبيبات الصخرية فزادت نسبة المواد الناعمة بها.

(جـ) الالتواء(*) *Skewness*

تظهر فى التوزيع العادى (شكل الجرس) لمنحنى التوزيع التكرارى القيم المتوسطة مخروطة الشكل، وأن أى ميل للتوزيع لأحدى الجوانب يكون انحراف عن الوضع الطبيعى نتيجة الاختلاف بين القيم المتوسط والوسيط هذا الاختلاف يُستخدم ليميز خصائص الالتواء أو التناسق للمنحنى التوزيع، كما أن الالتواء دائماً ما يكون ذو قيم سالبة أو موجبة عندما يكون أكثر نعومة أو أكثر خشونة يتمثل عن الشكل الطبيعى للتوزيع بحيث توزع الرواسب ناحية اليمين أو اليسار على كل فإن الالتواء يكون من خلال المعادلة التالية :

(*) تتراوح قيم الالتواء ما بين –١ ، +١ ويكون مؤشر منحنى التوزيع بالسالب فى حالة الرواسب الخشنة، اما حالة الرواسب الناعمة فيكون المؤشر بالموجب

معامل الالتواء = $\left(\frac{\phi_{16} + \phi_{84} + 2\phi_{50}}{2(\phi_{14} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{5} + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_{5})} \right)$

(Mcmanus, J., 1988, p. 78)

معامل الالتواء = $\frac{\phi_{84} + \phi_{50} - 2(\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})}$

(Hardisty, J., 1990, p. 25)

وتوصف فئات الالتواء كالتالى:

جدول (١٧) فئـات الالتـواء ودرجاتـه

الالتـــــواء	درجة الالتـــواء	المصطلح الأجنبى
التواء موجب جداً	(١,٠٠+) − (٠,٣+)	*Very Positively Skewed*
التواء موجب	(٠,٣+) − (٠,١+)	*Positively Skewed*
التواء متماثل	(٠,١−) − (٠,١+)	*Symmetrical*
التواء سالب	(٠,٣−) − (٠,١−)	*Negatively Skewed*
التواء سالب جداً	(٠,١−) − (٠,٣−	*Very Negatively Skewed*

ويوضح الجدول التالى (١٨) والشكل (٨٠) خصائص الالتواء لمنحنى توزيع أحجام رواسب المراوح الفيضية (بمنطقة الجلالة لقبلية بالصحراء الشرقية – مصر) كالتالى :

جدول (١٨) التعبيرات الوصفية لفئات التواء منحنى توزيع أحجام الرواسب

التواء سالب		التواء متماثل		التواء موجب		التو.ء موحب جداً		المجمـــــوع	
عدد	٪	عدد	٪	عدد	٪	عدد	٪	عدد	٪
١٢	٤٤,٥	١١	٤٠.٧	٤	١٤,٨	—	—	٢٧	١٠٠

يتضـح أن (١٢) عيـــنة بســـبة ٤٤,٥٪ تقع فى فئة الالتواء السالب و (١١) عينة بنسبة ٤٠.٧٪ فى فئة الالتواء المتماثل بينما بلغت أربعة عينات ١٤.٨٪ فى فئة الالتواء الموجب مما يشير إلى تمــاثل توزيـــع أحجام الرواسب، كما أشارت العلاقة بين الالتواء والتفلطح إلى وجود بعض الرواسب الدقـــيقة من الطمى والصلصال لم يتم إزالتها بعد بواسطة عوامل التعرية، وتأكيداً لذلك فقد أوضحت أيضـــاً دراســـة الالـــتواء وخصائصه على الرواسب الشاطئية على ساحل البحر الأحمر (أحمد فوزى، ٢٠٠٤، ص ٩٨) أن الرواســـب ذات الالـــتواء السالب فى رواسب الشاطئ تفسر طبيعة التيارات الشـــاطئيه حيـــث تتميز بقوتها فى حالة الالتواء السالب (تيارات عواصف) مما أدى إلى نقل الرواسب الخشـــنة والـــناعمة معاً، قد تكون نتيجة لاضطراب الأمواج داخل نطاق الشاطئ القريب وتكسرها أمامه، مما أدى إلى تركها للرواسب فى صورة مجمعة دون حدوث أى تصنيف *Sorting* لها.

(د) التفلطح *Kurtosis*:

يستخدم التفلطح بصورة واسعة، وهو مرتبط بكل من التشتت وطبيعة التوزيع ويتم الحصول عليه من المعادلة التالية :

$$\text{التفلطح } Kurtosis = \frac{Ø_{95} - Ø_{5}}{2.4\,(Ø_{75} - Ø_{25})}$$

وتشير نتائج التفلطح إلى شكل منحنى التوزيع وهل الرواسب توزع فى ذيل المنحنى أو وسطه ويوصف فئات التفلطح كالتالى :

جدول (١٩ أ) فئات تفلطح الرواسب

التفلطـــــح	درجة التفلطـــــح	المصطلح الأجنبى
مفلطح جداً	أقل من ٠,٦٧	*Very Platykurtic*
مفلطح	من ٠,٦٧ – ٠,٩٠	*Platykurtic*
تفلطح متوسط	من ٠,٩٠ – ١,١١	*Mesokurtic*
مدبب	من ١,١١ – ١,٥٠	*Leptokurtic*
مدبب جداً	من ١,٥٠ – ٣,٠	*Very Leptokurtic*
مدبب بشكل كبير	أكثر من ٣,٠	*Extremely Leptokurtic*

ومـــن الجـــدول الـــتالى (١٩ ب) تتضح فئات التفلطح فى توزيع رواسب المراوح الفيضية بالجلالة القبلية بالصحراء الشرقية – مصر.

جدول (١٩ ب) فئات التفلطح فى توزيع رواسب المراوح الفيضية

تفلطح شديد		تفلطـــح		تفلطح متوسط		تفلطح مدبب		المجمـــــوع	
عدد	٪	عدد	٪	عدد	٪	عدد	٪	عدد	٪
١	٣,٧	٢	٧,٤	١	٣,٧	٢٣	٨٥,٢	٢٧	١٠٠

حيث أن ١٥,٢٪ من عينات المراوح تميل إلى أن تكون فى فئات التفلطح المدبب ومن خلال العلاقـــة بـــين الالتواء والتفلطح لتوزيع أحجام الرواسب شكل (٧٨) اتضح أن ٥٩,٣٪ من أحجام الرواسب تميل إلى الالتواء السالب والمتماثل مع وجود نسبة ١٤,٨٪ تميل إلى الالتواء الموجب مما يشير إلى وجود بعض الرواسب الدقيقة من الطمى والصلصال لم تتم إزالتها بعد بواسطة عوامل التعرية.

(٢) الطريقة اللحظية فى التحليل : *Moment Methods*

وتســـتخدم فى التحلـــيل الحجمى للرواسب مثل الطريقة السابقة وتعطى نفس نتائج الطريقة الســـابقة، والاختلاف الوحيد بينهما كما يوضحه *Macmanus, J., (1988, pp: 78 - 79)* أن الطريقة الأولى تعـــتمد على توزيع ذو نهاية مفتوحة *Open End Distribution* ، أما الطريقة الثانية لا يمكن أن تتم ما لم يتم تحديد أحجام الرواسب وتصنيفها فى فئات محددة.

ولتحقيق التحليل الحجمى بهذه الطريقة يتم تطبيق الطرق التالية :

(أ) الطريقة (اللحظة الأولى) = المتوسط

$$\text{المتوسط} = \frac{\text{مجـ تكرار الوزن} \times \varnothing}{100}$$

(ب) الطريقة (اللحظة الثانية) = مربع الانحراف المعيارى للتوزيع

$$\text{مربع الانحراف المعيارى للتوزيع} = \frac{\text{مجـ تكرار الوزن} \times (\text{الفرق بين النقطة المتوسطة لكل درجة فترتين والمتوسط})^2}{100}$$

(جـ) الطريقة الثالثة (اللحظة الثالثة) = الالتــواء

حيث تقيس نمط التوزيع حول المتوسط.

$$\text{الالتـــواء} = \frac{\text{مجـ تكرار الوزن} \times (\text{الفرق بين النقطة المتوسطة لكل درجة فترتين والمتوسط})^3}{100}$$

(د) الطريقة الرابعة (اللحظة الرابعة) = التفلطح

$$\text{التفلطـــح} = \frac{\text{مجـ تكرار الوزن} \times (\text{الفرق بين النقطة المتوسطة لكل درجة فترتين والمتوسط})^4}{100}$$

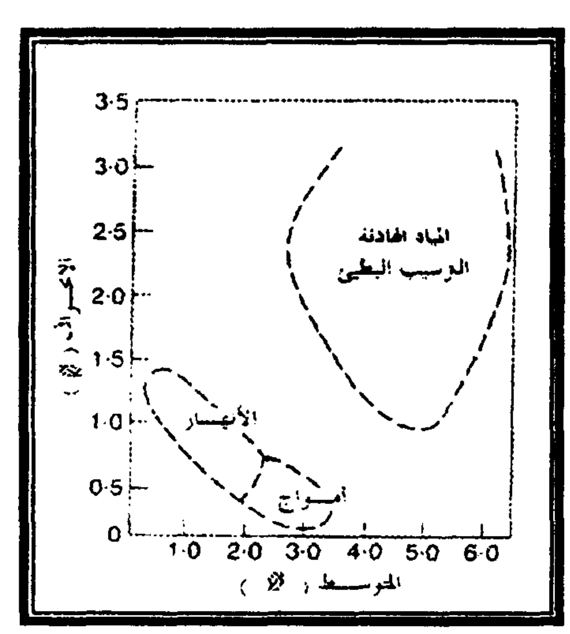
وعـــلى الـــرغم من تعدد المعادلات السابقة إلا أن النتائج تتشابه مع نتائج المعادلات الســابقة المســـتمدة مـــن التحليل الحجمى (الطريقة الشكلية)، ومع هذا النتائج تكون فى الطريقة الحالية أكبر واقعية وتمثيلاً عن الثانية، ولكن لا يمكن استخدامها ما لم يتم تحديد فئات الأحجام من حيث خصائص التوزيع المختلفة (متوسط الحجم، التواء، تفلطح ... إلخ). *(Mcmanus, J., 1988, p. 79)*.

(٣) التفسير البيئى لبيانات أحجام الرواسب : [تحديد بيئة الترسيب من خلال أحجام الرواسب]

يستخدم علماء الرواسب *Sedimentologists* وسائل التحليل وتمثيل البيانات وسائل وصفية معيارية، ولكن قد تستخدم فى أكثر من ذلك بحيث يمكن استنتاج بيئة الترسيب، وأبسط هذه الوسائل هى الخرائط الجغرافية التى توقع عليها البيانات الفردية أو قد توقع عليها بعض المتغيرات العوامل الإقليمية.

وقد استخدم كل من فولك وورد *Folk & Word, 1957*، ألن *Allen, 1971*، رين وجودل *Rein & Goodel, 1972*، كول ومايو *Cool & Maux,1977*، ومكاميوس *Mcmanus, J., 1988*، كينج *King, 1980*، وغيرهم، هذه الأشكال وباستخدام العلاقات المتبادلة بين متوسط أحجام الرواسب والانحراف المعيارى وبين الالتواء والتفلطح وبين متوسط حجم الرواسب والالتواء فى تحديد بيئة الترسيب وطبيعة العوامل الجيومورفولوجية ذات التأثير الواضح فى ترسيب وتشكيل هذه الرواسب.

ومن أشهر هذه الأشكال ما وضعه ستيورت وبينفورت *Stewert & Benfort, 1958* فى تحديد بيئة الترسيب شكل (٧٩).

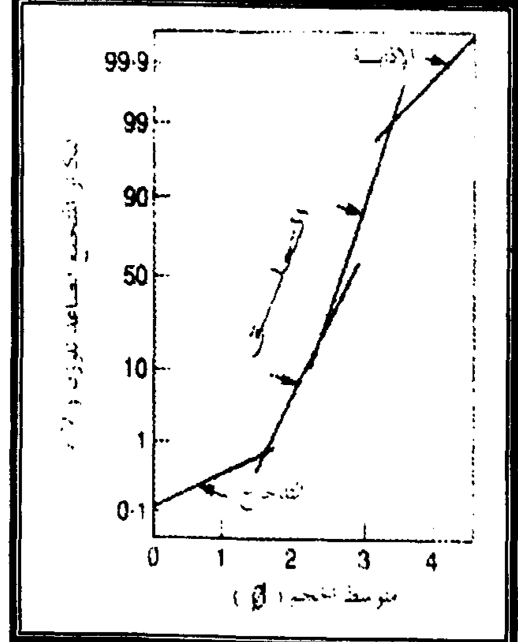


شكل (٧٩) مقياس ستيورت لتحديد بيئة الترسيب

بصفة عامة يمكن القول بأن هناك تنوعاً مشتركاً بين مقياسين أو أكثر مثل متوسط الحجم والتصنيف حيث يتأثر تأثيراً طبيعياً لدرجة أن كل بيئات الترسيب يبدو فيها أفضل تصنيف (التصنيف الجيد للرواسب) فى بيئات الرمال الناعمة، هذه العلاقة القوية تم تحقيقها من العديد من الدراسات المتتالية، وأقدم هذه الدراسات دراسة ستيورت ١٩٥٨ والتى وقع بين المتوسط الحجم والالتواء والانحراف المعيارى لنطاق الرواسب النهرية والبحرية وبيئات الرواسب المياه الهادئة وحدد أيهم يحدد بيئة الترسيب المناسبة شكل (٧٩)، وغيرهم من استخدم هذه الأشكال فى تحديد الرمال الشاطئية ورمال الكثبان من خلال بيانات أحجام الرواسب.

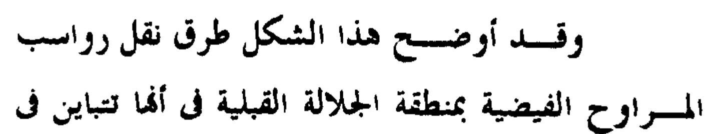
وقد استخدم المؤلف هذه الطريقة فى تحديد الرواسب الرملية الشاطئية ورواسب الرمال القارية على ساحل البحر الأحمر، وقد أفادت كثيراً فى تحديد بيئة الترسيب لاسيما أو منطقة الساحل أو المنطقة السهلية على البحر الأحمر تتعدد فيها بيئات الترسيب ويصعب الفصل فيها ميدانياً. اللهم إلا باستخدام وسائل التحليل المختلفة ومنها التحليل باستخدام الأشكال التى تحدد بيئة الترسيب (للاستزادة أنظر أحمد فورى، ٢٠٠٤).

وتأكيداً لما سبق فقد اتضح للمؤلف خلال دراسته لرواسب الشاطئ على ساحل البحر الأحمر أن العلاقة بين الانحراف المعيارى والالتواء قد أوضحت على سبيل المثال أن الرواسب الناعمة التى تتميز بالتصنيف الجيد تميل إلى الالتواء الموجب، وهذا فسر لنا مدى التداخل بين الرواسب الناعمة مع الرواسب الخشنة فى رواسب الشاطئ، وقد يرتبط ذلك بطبيعة الحال بخصائص نطاق المسطحات المدية *Tidal Flats* التى تتعرض لحركة العجيج *Swash* والخضربة *Backswash* حيث تترسب الرواسب الخشنة والناعمة تحت ظروف هيدرومترية مختلفة، حيث يسمح تباين الطاقة فوق هذا النطاق للحبيبات الناعمة باحتجازها بين الوحدات الخشنة، لدرجة أن هذا النظام يندرج تحت ما يسمى بالتصنيف الردئ *ill Sorted*، لاسيما وأن هناك سيادة للأمواج الهادئة على المنطقة.



شكل (٨٠) الأقسام الخطية لمنحنى *Visher*

ليس هذا فحسب ولكن علاوة على ما سبق فقد تُستخدم بعض الأشكال فى تحديد طبيعة الترسيب وعامل الترسيب نفسه وخصائص الترسيب شكل (٨٠) كما تستخدم أشكال المتجمع الصاعد لأحجام الرواسب فى تحديد طبيعة نقل الرواسب من حيث الدحرجة *Rolling* والقفز *Saltation* والتعلق *Suspension*، وذلك من خلال العلاقة المتبادلة بين متوسط حجم الرواسب والمتجمع الصاعد لوزن الرواسب (٪).



وقد أوضح هذا الشكل طرق نقل رواسب المراوح الفيضية بمنطقة الجلالة القبلية فى أنها تتباين فى أحجامها وطرق نقلها أيضاً. فمعظم الرواسب الخشنة تم نقليها لمسافات قصيرة بواسطة التدحرج. أما رواسب الرمال المتوسطة والناعمة فتم نقلها لمسافات قريبة عن طريق القفز، ولكن باقى الرواسب الناعمة جداً والطمى والصلصال فتم نقلها لمسافات بعيدة فى صورة حمولة عالقة *Suspension Load*.

ثانياً : التحليل الشكلى للرواسب :

تفـيد دراسة الخصائص الشكلية للرواسب الخشنة والناعمة فى التعرف على خصائص ظروف الجريان وطريقة نقل الرواسب، كما تفيد فى معرفة العامل والعملية الجيومورفولوجية التى شكلت هذه الرواسب.

وتنقسم الخصائص الشكلية إلى اثنين :

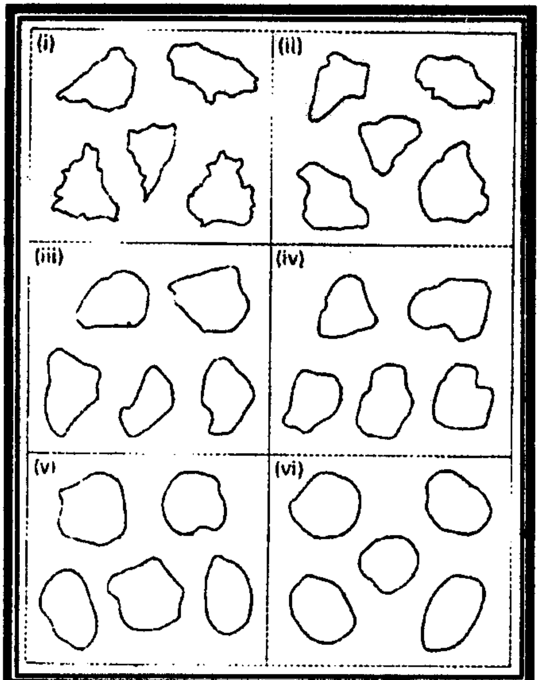
(أ) الخصائص الشكلية للرواسب الخشنة.

- قياس الشكل.
- قياس الاستدارة.

(ب) الخصائص الشكلية للرواسب الدقيقة.

(أ) الخصائص الشكلية للرواسب الخشنة :

تعطـى دراسـة الخصـائص الشكلية معلومات هامة لظروف معينة، وخصائص معينة خاصة بطبيعة الترسيب والعامل المرسب، فمثلاً سيادة الرواسب الخشنة و الحصوية فهى لاشك أنها ترسبت فى بيـئة مياه سريعة لاسيما إذا كانت أكثر تصنيفاً، فى المقابل فإن الرواسب الناعمة لابد وأنها ترسبت فى ظروف مياه هادئة مثل البحيرات.



شكل (٨١) الأشكال الخارجية للرواسب الرملية

يعـتمد **قياس أشكال** الحصى والرواسب عـلى طـرق عديـدة؛ منها ما هو أبسطها هى طريقة وصـف للأشـكال الخارجية للرواسب شكل (٨١) حيـث يـتم فـيها مقارنة شكل الرواسب بالأشكال الموضـحة باللوحـة السابقة وفيها يتم وصف لشكل الحبيبات. تنقسم الأشكال بهذه اللوحة إلى ستة أشكال تـبدأ بالأشـكال المزوية ***Angular*** ثم تنتهى بالأشكال الأقرب للاستدارة.

أما الطريقة الثانية للتعرف على الشكل فهى من خلال تحديد العلاقة بين الطول والعرض والسمك باسـتخدام طـريقة رنـج (الصالح، ١٩٩٢، ص ٧٠) حيث تقسم الحبيبات إلى أربعة أنواع حسب أشـكالها وهـى كروية ***Sphere*** وقرصية ***Disc*** وورقية ***Blade*** وقضيبية ***Rod***، ويُبنى هذا التقسيم على العلاقة بين المحاور الثلاثة (الطول – العرض – السمك) كالتالى :

جدول (٢٠ أ) أقسام الحبيبات حسب أشكالها

شكل الحبيبة	العرض / الطول	السمك / العرض
كروية	أكبر من ٠,٦٧	أكبر من ٠,٦٧
قرصية	أكبر من ٠,٦٧	أصغر من ٠,٦٧
ورقية	أصغر من ٠,٦٧	أصغر من ٠,٦٧
قضيبية	أصغر من ٠,٦٧	أكبر من ٠,٦٧

استدارة الحصى :(*)

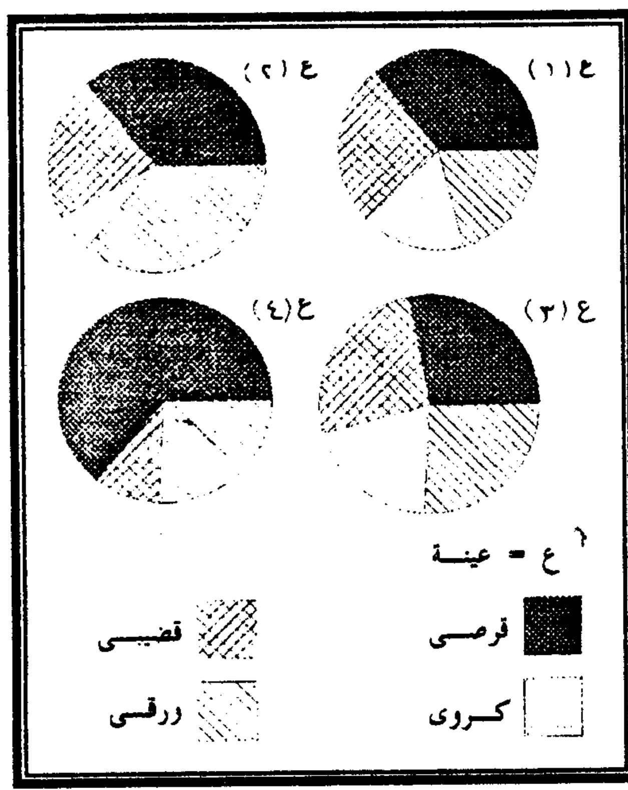
فقد استخدم المؤلف هذه الطريقة وقام بتطبيقها على عدد ٥٠ حصوة من رواسب المراوح الفيضية بمنطقة الجلالة القبلية بالصحراء الشرقية – مصر، وأدرجت بيانات القياس فى الجدول (٢٠ ب) والشكل (٨٤)، ومن الجدول والشكل اتضح ما يلى :

جدول (٢٠ ب) الخصائص الشكلية لرواسب أسطح بعض المراوح الفيضية

م	موقع العينة	الشكل			
		قرصي ٪	قضيبي ٪	كروى ٪	ورقي ٪
١	أدنى مروحة أم دمرانة	٤٠	١٦	١٨	٢٦
٢	أواسط مروحة أم دمرانة	٣٠	١٤	٤٢	١٤
٣	أعالى مروحة أم دمرانة	٤٨	١٨	٣٠	٤
٤	أدنى مروحة أسخر	٣٦	٢٤	٢٢	١٨
٥	أواسط مروحة أسخر	٥٢	١٨	٨	٢٢
٦	أعالى مروحة أسخر	٣٤	٢٥	١٢	٣٠
٧	أدنى مروحة أبو عظام	٣٦	١٦	٣٨	١٠
٨	أواسط مروحة أبو عظام	٣٤	٢٦	٢٠	٢٠
٩	أعالى مروحة أبو عظام	٤٦	١٤	٢٦	١٤
١٠	أعالى مروحة أم حماضة	٤٢	٢٠	١٨	٢٠
١١	أواسط مروحة أم حماضة	٦٤	١٦	٨	١٢
١٢	أواسط مروحة رافد أسخر	٢٨	٢٠	١٤	٣٨
١٣	أدنى مروحة رافد اسخر	٤٢	١٤	٢٨	١٦
١٤	أعالى مروحة رافد أسخر	٤٤	٢٦	٦	٢٤
	المتوسط	٤١,١	١٩	٢٠,٧	١٩,٢

(*) تم التعرف عليها من خلال المعادلة التالى : معادلة كاليو *Caillaux*

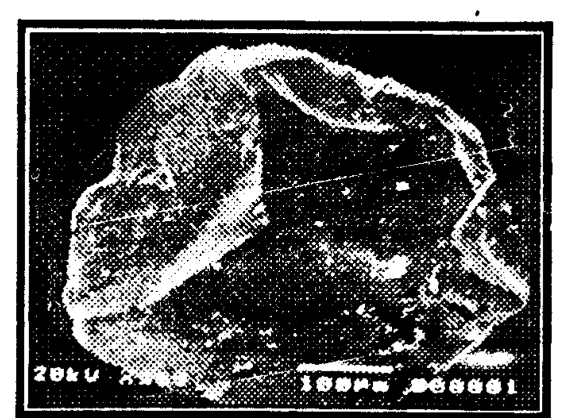
معدل الاستدارة = (٢ نق / ل) × ١٠٠٠ حيث يتراوح بين ١ – ١٠٠٠ واقتراب الناتج من ١٠٠٠ يدل على شدة الاستدارة (جودة حسنين وآخرون، ١٩٩١، ص ٢٢٨).



شكل (٨٣) الخصائص الشكلية لرواسب أسطح بعض المراوح الفيضية

- ارتفاع نسبة الأشكال الحادة إلى ٩٠,٣٪، حيث بلغت نسبة الأشكال الحادة فقط ٣٢,١٪، وهذا خير دليل على السرعة الشديدة للتيار المائى الذى نُقلت بواسطته هذه الرواسب، مع الأخذ فى الاعتبار أيضاً احتكاك الرواسب مع بعضها البعض وبالقاع أيضاً مما عمل على تكسرها إلى أحجام مختلفة ترتفع بها نسبة الأشكال الحادة والمزوية.
- ارتفعت نسبة أشكال الرواسب المستديرة وشبه المستديرة فى رواسب قمم المراوح كما فى مروحة أودية أم دمرانة وأسخر وأبو عظام، بينما انخفضت نسبة الاستدارة نسبياً فى رواسب أواسط وأدنى المراوح ويتفق هذا مع معظم الدراسات التى ترى أن هناك انخفاضاً فى درجة الاستدارة مع قلة حجم الرواسب وإن كانت هناك اختلافات على مستوى المراوح فى المنطقة إلا أنها تعكس ظروف عمليتى النقل والإرساب فى كل مروحة والظروف المناخية السائدة أثناء عملية النقل والإرساب لهذه المراوح.
- بلغ متوسط الأشكال القرصية ٤١,١٪ شكل (٨٢) وتزيد هذه النسبة لاسيما فى رواسب قمم المراوح وقد يرجع ذلك لقصر المسافة التى قطعتها هذه الرواسب أثناء نقلها، أو قد تزيد فى قمم المراوح نسبة المفتتات التى أتت بها السيول من المنحدرات الجانبية وألقت بها المياه فى المراوح دون أن تتعرض لمسافات طويلة فى نقلها، فى حين بلغت نسبة الشكل القضيبى والورقى إلى ١٩٪، كما ارتفعت نسبة الأشكال الكروية إلى ٢٠,٧٪ لاسيما فى رواسب أدنى المراوح ذلك لطول المسافة التى نقلت خلالها وزيادة استدارتها وقلة أحجام رواسبها.

(ب) الخصائص الشكلية للرواسب الدقيقة : "خصائص أسطح السطح"



شكل (٨٣ أ) الخصائص الشكلية للرواسب الدقيقة لخصائص أسطح السطح

تمثل دراسة الخصائص الشكلية لأسطح السطح بالنسبة للرواسب الدقيقة أهمية كبرى في التعرف على أهم الأشكال الدقيقة على أسطحها، والتي تعكس بدورها العمليات الجيومورفولوجية التي مرت بها وأيضاً الظروف الجغرافية والجيولوجية التي كانت لها انعكاساً على سطح تلك الحبيبات، كما تعكس أصل وتاريخ هذه الحبيبات، ولكن مع انتقال الحبيبات من بيئة إلى أخرى كأن تنقل من الشاطئ إلى السبخة المجاورة أو العكس أو من الأحواض المائية إلى الشاطئ، أو بمعنى أخر تعرضها لأكثر من دورة ترسيب، ولذا فقد تصعب تحديد أصلها وتاريخها بالضبط في بعض الأحيان لأن العلامات السطحية القديمة قد تحمى وتحل محلها علامات سطحية جديدة.

ولذا فدراسة العلامات السطحية من الأهمية في أنها تعطى فكرة ظاهرية فقط،ولكن لا يمكن الاعتماد عليها بمفردها في تحديد بيئة الترسيب (محمد عبد الغنى عثمان، ١٩٩٧، ص ص ٤٢ – ٤٦).

بناءً على ما سبق فقد قام المؤلف بدراسة بعض خصائص أسطح حبيبات الكوارتز لشاطئ البحر الأحمر باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني ومن خلال الصور التي تم استخدمها شكل (٨٣ أ) اتضح ما يلي :

- تزيد استدارة رواسب الشاطئ الخلفي *BackShore*، حيث يقل البروز الخارجية للحبيبات وقد يُفسَر ذلك بتعرضها لاضطربات الأمواج التي أتت بها إلى منطقة الشاطئ الخلفي حيث يؤكد بيرد *(Bird, 1970)* أن استدارة حبيبات الرمال الهوائية تزيد عن الحبيبات التي تم نقلها بواسطة المياه، ويعلل ذلك بأن الفراغات التي تسير فيها الرمال المنقولة بالهواء تساعد على زيادة ـــ دمها واحتكاكها ببعضها البعض مما يزيد من استدارتها، من هذا يمكن القول بأن حبيبات الشاطئ الخلفي قد تكون رواسب هوائية أرسبت في نطاق الشاطئ الخلفي بشواطئ المنطقة.
- زادت في حبيبات الشاطئ الأمامي البروزات الخارجية والتي ترجع إلى تكسرها أحياناً والى عدم نضجها أحياناً أخرى، ومن ثم لم تتم استدارتها وقد يكون لظروف البيئة البحرية المالحة تدخل في زيادة مثل هذه البروزات الخارجية.

- تظهـــر علامات الحفر الغائرة على أسطح الحبيبات وقد تأخذ أشكالاً طولية أو دائرية وبصفة عامة تكـــثر هـــذه العلامات فى الحبيبات البحرية (ذات الأصل البحرى)، وذلك لتعرضها للاضطراب الموجـــى، حيـــث تـــزيد الاضطرابات من هذه العلامات، وبصفة خاصة التيارات المكسرة ذات الرواسب الناعمة.
- ظهرت بعض الأسطح فى شكل معتم وبعضها فى شكل لامع "مضيئ" هذا ويشير بريق أسطح بعض الحبيـــبات إلى انـــتظام انعكاس الضوء على أسطح الحبيبات، كما ترجع العتمة فوق سطح بعض الحبيبات إلى مثل العمليات الميكانيكية التى تتسبب برى لسطح الشاطئ وقد ترجع عتمه الحبيبات إلى تلـــف السطح بالورنيش الصحراوى *Desert Varnish* ولاسيما حبيبات الشاطئ الخلفى حيث تـــتعرض لظـــروف المناخ الصحراوي التى تميز المنطقة مما يؤدى إلى صعود محلول السيلكا داخل الحبيبات وترسيبه على أسطح الحبيبات مما يعطى بريقاً مطفياً لسطح الحبيبات الشاطئية.
- ظهـــرت بعـــض العلامات التى تأخذ بشكل الحفر الغائرة (V) ومن الجدير بالذكر أن مثل هذه الحفـــر تـــزداد مع زيادة اضطراب الأمواج أو قد ترجع إلى تكسرها بسبب الاحتكاك والتصدام بعضـــها البعض وبالقاع، أو نتيجة عمليات الزحف التى تتحرك بها سواء أكانت بحرية أم فيضية الأصل. (أحمد عبد السلام ومحمود عاشور، ٢٠٠٠، ص ص ٣٦ – ٣٧).
- تظهـــر بعـــض الحفر الضحلة، والتى تكونت فوقها بعض الملامح السطحية الحديثة فى نشأتها مثل الأطباق المقلوبة والفجوات الطويلة والحفر المتلاحمة، وتعطى مؤشراً على تعدد الدورات الترسيبية الـــتى مرت بها، وكذلك أيضاً إشارة إلى طبيعية البيئات الهوائية والعينات المائية ونشاطها فى عملية النقل والترسيب. (Mohran, T., 1994, p. 312).

... والخلاصـــة يمكـــن القول بأن خصائص أسطح الحبيبات وتميزها بمجموعة من العلامات الســـطحية، تفـــيد فى معرفة مدى تنوع بيئات الترسيب والوقوف على أهم العوامل الجيومورفولوجية تأثيراً فى منطقة الدراسة

(جـ) التحليل الكيميائى للرواسب :

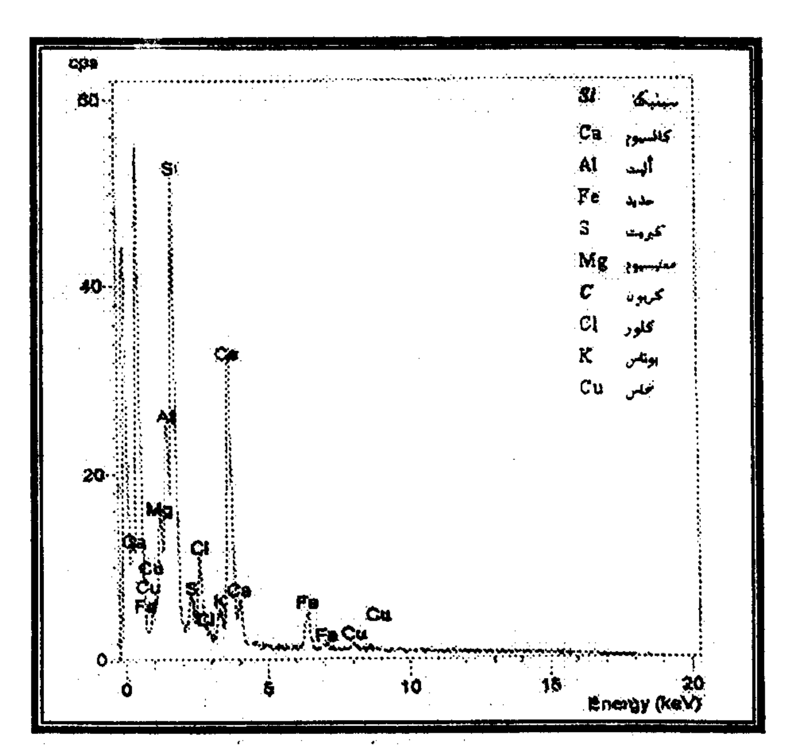
[التحليل المعدنى للرواسب]

ويهدف هذا التحليل إلى معرفة المحتوى الكيميائى للرواسب لاسيما الرواسب الدقيقة منها (أقل مـــن ٠,٠٧٤ مـــم)، ومعرفة المحتوى من الكربونات والسيلكا والحديد والكلوريدات ونسبة كل منها وتحديد خصائص ونسبة المعادن الثقيلة مثل الهورنبلد والبيروكسين والابيدوت والزرتن .... وغيرها، وهذه المعادن تعطى مؤشراً على مصدر الرواسب التى تحتوى على هذه المعادن.شكل (٨٣ ب).

وقد استخدم المؤلف هذا النوع من التحليل على رواسب بعض المراوح الفيضية بمنطقة البحر الأحمـــر والتى تميزت بارتفاع نسبة السيلكا (Si)، حيث شغل نسبة ٦٥,٧٪، يليها الكالسيوم (Ca) ثم الأليـــت (Al) ثم الماغنســـيوم (Mg) ثم الكلـــور (Ci) ثم النحاس (Cu) ثم الحديد (Fe)، ويفسر وجود الســـيلكا بنســـبة مرتفعة عملية استخلاصها من حبات الرمال وإعادة إرسالها مرة أخرى، كما يفسر ارتفـــاع نسبة الكالسيوم إلى وجود الحجر الجيرى السائد فى رواسب المراوح، كما يفسر وجود نسب مـــن الحديد على تواجد الرواسب الفيضية (رواسب المراوح) بالقرب من التكوينات الجيولوجية التى تحـــتوى عـــلى خام الحديد أو أن مصدرها من مناطق تحتوى على خام الحديد كما هو فى جبال البحر الأحمر التى تمثل المصدر الرئيسى له لرواسب المراوح الفيضية بالمنطقة.

... ممـــا ســـبق يمكـــن القول بأن تحليل الرواسب يهدف إلى معرفة مصدر الرواسب وكونها رواسب منقولة أم محلية والوقوف على بيئة الترسيب التى تشكلت فيها هذه الرواسب وأهم العمليات الكيميائية والميكانيكية التى تأثرت بها الرواسب.

كما ينوه المؤلف إلى أن هناك العديد من الطرق المختلفة للتحليل قد تفيد فى أبحاث ودارسات مختلفة ولكن ما ورد هنا هو أهم وسائل التحليل التى يقوم بها الباحث فى الجيومورفولوجيا.



شكل (٨٣ ب) الخصائص الكيميائية لرواسب المراوح الفيضية

الفصل التاسع

القطاعات التضاريسية والتحليل المورفومترى من الخريطة الكنتورية

أولاً : القطاعات التضاريسية.

ثانياً : التحليل المورفومترى.

مقدمة :

القطاعات عبارة عن خطوط بيانية تهدف إلى تمثيل سطح الأرض ودراسة شكله العام على طول خط ما سواء أفقياً أو متعرجاً أو مائلاً ورأسياً.

ويمكننا من خلال تحليل القطاع أن نخرج بدراسة تحليلية جيدة للسطح على طول امتداده، ومن ثم فإنه كلما زاد عدد القطاعات كانت نتائج المعالجة أكثر إفادة لمنطقة الدراسة خاصة فيما يتعلق بصور الانحدار والتضرس والإلمام بالملامح التفصيلية على طول خطوط القطاعات المدروسة.

أولاً : القطاعات :

وتنقسم القطاعات التضاريسية التى تتم بالخريطة الكنتورية إلى عدة أنواع يتمثل أهمها فيما يلى :

(أ) القطاع التضاريسى المستقيم.

(ب) القطاعات التضاريسية المركبة (المتداخلة).

(جـ) القطاعات البانورامية.

(د) القطاعات الطولية للنهر والطرق.

(هـ) القطاعات العرضية للنهر.

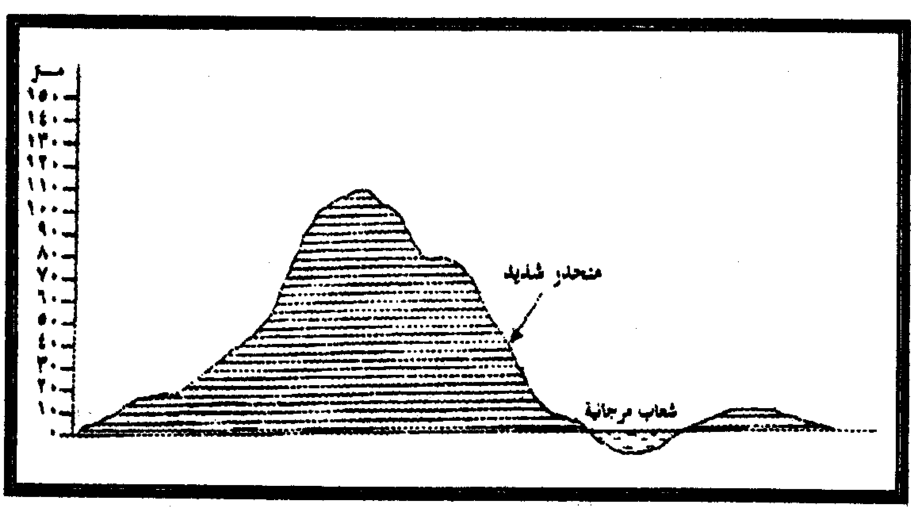
وفيما يلى إيجاز لطرق رسم هذه القطاعات وأهميتها فى المعالجة الجيومورفولوجية :

(أ) القطاع التضاريسى المستقيم :

يتم رسمه بين نقطتين على الخريطة الكنتورية يتم تحديدها وترميزها. ويتم رسمه على النحو التالى :

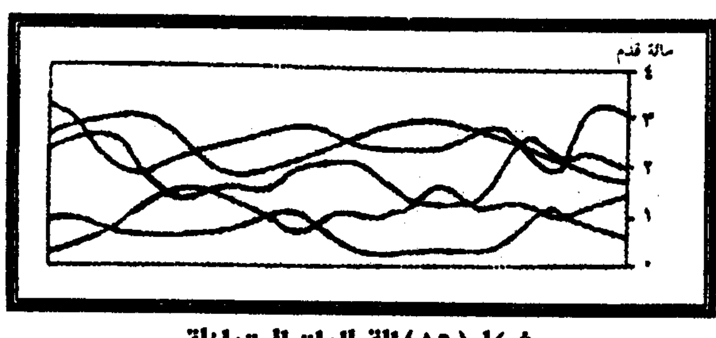
- نضع ورقة بحيث حافتها مع خط القطاع المراد لرسمه.
- تحدد نقط تلاقى خطوط الكنتور مع حافة الورقة وتسجيل عليها مناسيبها فى مواضعها.
- يقاس طول القطاع المطلوب على الخريطة وينقل بنفس قياسه على ورق ملليمترات ويرسم محور أفقى على ضوء مناسيب الكنتورات المنقولة على الورقة الأولى، ثم يرسم محور رأسى على الطرف الأيسر للمحور الأفقى ونقوم بتدريجه نفس مقياس رسم الخريطة أو بنوع من المبالغة الرأسية الملائمة.
- نقيم على نقطة منسوب العمود المطابق فى ارتفاعه لها وذلك وفقاً للمقياس المدون على المحور الرأسى ثم يوصل بين الأطراف العليا لهذه الأعمدة والتى يتم حذفها بعد رسم القطاع المطلوب ويمكن أن يلون القطاع أو نظلله.
- يشترط وضع اتجاه الشمال وقيمه المبالغة الرأسية *Vertical Exaggeration*(*) مع كتابة بعض الملامح والأشكال الجيومورفولوجية الرئيسية الموجودة على طول امتداد القطاع شكل (٨٤).

(*) المبالغة الرأسية نتائج الفاصل الرأسى ÷ مقياس رسم الخريطة والهدف منها يتمثل فى إظهار التضاريس بشكل مناسب ومبالغ فيه بدرجة ما مقارنة بالمقياس الأفقى (مقياس رسم الخريطة)، وعادة ما تقل المبالغة الرأسية وتلغى فى حالة التضاريس البارزة وبينما تزيد فى حالة التضاريس الباهتة.



شكل (٨٤) قطاع تضاريسي مستقيم

(ب) القطاعات التضاريسية المتداخلة : *Super Imposed Profile*



شكل (٨٥) القطاعات المتداخلة

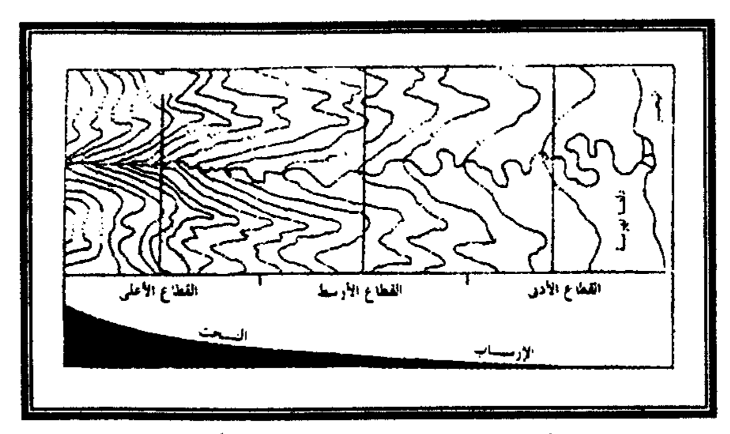
يتم رسمها فى شكل بنفس الكيفية التى تم بها رسم القطاع المستقيم حيث يمكن رسم أكثر من خط مستقيم ممتدة فى موازاة بعضـــها وعلى مسافات متساوية، ويهدف رسمها إلى إبراز معالم سطح الأرض فى منطقة واســـعة ومواضـــع مـــتفرقة من الخريطة الكـــنتورية ويعطـــى صـــورة عامة للانحدار وأشكال السطح على طول امتداداتها وتفيد كذلك فى عمليات التحليل الجيومورفولوجى للمنحدرات (محمد محمود طه، ٢٠٠٠، ص٨٤) شكل (٨٥).

(جـ) القطاعات البانورامية :

شكل (٨٦) القطاعات البانورامية

هى تقريباً القطاعات المتداخلة وتختلف عنها فقط فى حذف الأجزاء من القطاع يخفيها القطاع الممتد أمامه ومعنى ذلـــك أن القطاع الأول يرسم كاملاً أما القطاع الثانى يتم رسم أجزاؤه التى تعلو القطـــاع الأول وهكـــذا، ويهدف رسم هذه القطاعات إلى إعطاء صورة شاملة عن منحدرات المنطقة وأشكال سطحها شكل (٨٦).

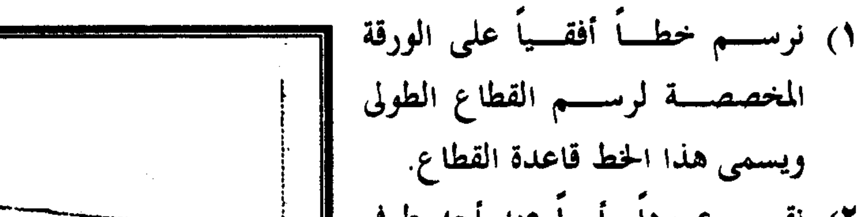
(د) القطاع الطولى للنهر :

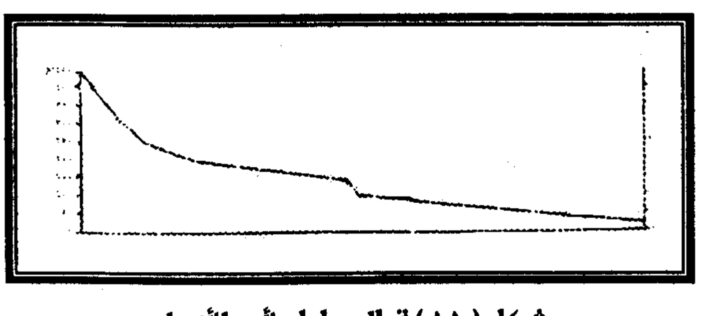


شكل (٨٧) قطاعات طولية على الأنهار

يمثل القطاع الطولى للنهر انحدار المجـرى، وتتمـيز الأنهـار دائمة الجريان والمجـارى المائية الفصلية بوضوحها على الخرائط الكنتورية وهى تختلف فى ذلك عن خطـوط الجـريان فى المناطق الجافة وشبه الجافة، ولعل السبب فى ذلك يرجع إلى أن الأولى واضحة ومحدودة فى الطبيعة والثانية غـير ذلك. كما أن الأنهار دائمة الجريان يصيبها بعض التغيرات البيئية وهى أيضاً تختلف فى ذلك عن الأودية الجافة ولذلك فإن العديد من الخرائط الكنتورية التى تمثل المناطق الجافة وشبه الجافة لا تظهر بها كل خطوط الأودية الجافة.

ومـن أهم ما توضحه القطاعات الطولية للأنهار أو الأودية الجافة المرحلة التى يمر بها القطاع، فهناك القطاعات المتعادلة وغير المتعادلة هذا بالإضافة إلى تحديد المراحل العمرية على طول خط القطاع (شـباب، نضج، شيخوخة) شكل (٨٧) وبصفة عامة يدل بطء الانحدار والشكل المقعر للقطاع على صـفة الـتعادل، كما يدل وجود نقط التقطع فى بعض أجزاء القطاع على صفة عدم التعادل، ولرسم القطاع الطولى للنهر نتبع الخطوات التالية : (محمد صبرى وأحمد الشريعى، ١٩٩٦، ص٢٣١).



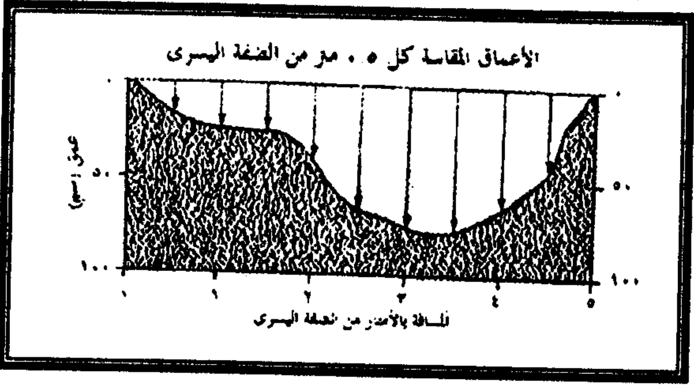

شكل (٨٨) قطاع طولى لأحد الأنهار

١) نرسـم خطـاً أفقـياً على الورقة المخصصـة لرسـم القطاع الطولى ويسمى هذا الخط قاعدة القطاع.
٢) نقـيم عموداً رأسياً عند أحد طرفى خـط القاعدة ونحدد على هذا الخط الرأسـى الارتفاعات كما توضحها الخريطة الكنتورية.
٣) يفضل أن تختار قيم الارتفاعات بالسنتيمترات على طول المحور الرأسى بشيء من المبالغة الرأسية.
٤) يسـتخدم المقسم Divider لقياس طول المجرى المائى بين كل خطى كنتور متتاليين وذلك بفتحة المقسم فتحة دقيقة لا تزيد عن ٣مم.
٥) للحصول على طول المجرى المائى بين خطى كنتور متتاليين نقوم بضرب قيمة فتحة المقسم فى عدد النقلات.
٦) نقـوم بتوقـيع المسافة المقاسة بواسطة المقسم أمام كل ارتفاع حسب التقسيم الموضح على المحور الرأسى بالقطاع ونستمر فى هذه العملية حتى نهاية المجرى المائى.
٧) نصل بين النقط المحددة على خط القطاع بخط يرسم باليد فنحصل فى النهاية على القطاع الطولى للنهر شكل (٨٨).

(هـ) القطاعات العرضية للأودية :

تفـيد هــذه القطاعات فى التعرف على المرحلة التطورية للأودية، كما تعطى فكرة عامة عن العملـيات الجيومورفولوجية المؤثرة فى شكل القطاع العرضى كمعدلات النحت والإرساب والعمليات البنيوية المختلفة، وقد نحتاج إلى تصميم أكثر من قطاع عرضى وخاصة فى المجارى المائية الكبيرة وذلك للتعرف على تفاصيل أكثر عن الشكل العام للقطاع وخصائصه.

وإلى حـد كبير يدل شكل الوادى عـلى المـرحلة الـتطورية فقـد أوضـح "ولـيم موريس ديفز" فى دراسات عديدة له على أن شكل حرف (V) يدل على مرحلة الشـباب للأوديـة، كما يدل شكل حرف (U) عـلى مـرحلة النضج، أما إذا كان جانبى الوادى متباعدين جداً وبطيئة الانحدار فهـذا يعنى مرحلة الشيخوخة شكل (٨٩) والذى يوضح قطاعاً عرضياً لقناة نهرية.



شكل (٨٩) قطاع عرضى على أحد الأنهار

ولا تخـتلف طريقة رسم هذه القطاعات عن طريقة رسم القطاعات المتداخلة (المتسلسلة) من حيـث أن الخطـوط التى ترسم على طولها القطاعات العرضية للأودية النهرية تكون قاطعة أى عمود على اتجاهات هذه الأودية.

ولرسم هذا النوع من القطاعات نتبع الخطوات التالية :

١) تحدد مواقع القطاعات العرضية على الخريطة.
٢) يتم نقل تقاطع خطوط الكنتور على المجرى المائى.
٣) يحدد على القطاع الطولى للمجرى النهرى فقط تقاطعه مع القطاعات العرضية.

ثانياً : تحليل الانحدارات والارتفاعات :

(أ) معدل الانحدار :

يتم حساب معدل الانحدار من الخريطة الكنتورية على النحو التالى :

تحـدد نقطتين متباعدتين وفى موضعين مختلفين فى الارتفاع على أن يتم حساب الفارق الرأسى بينهما – الفارق فى الارتفاع – مثال أن تكون إحداهما على منسوب ٢٠٠متر والأخرى على منسوب ٣٠٠مـتر، ومعـنى ذلـك أن الفـارق، بيـنهما ١٠٠متر فإذا ما كانت المسافة بينهما ٢٠٠٠متر (كيلومـترين) فـإن سـطح الأرض ينحدر بينهما بمعدل ١٠٠متر (الفاصل الرأسى) لكل ٢٠٠ متر (المسا أفقية ٢٠٠٠متر) أى أن معدل الانحدار يبلغ ٢٠/١.

(ب) درجة الانحدار :

يمكـــن الحصـــول عليها من حساب الفارق الرأسى بين النقطتين المذكورتين أفقاً ثم يتم قياس المســـافة الأفقـــية بينهما على الخريطة ومن خلال مقياس الرسم بالخريطة يتم تحويلها إلى أطوال بالمتر أو بـــالقدم حسب نوع وحدة القياس على الخريطة ثم نقسم الفارق الرأسى بين النقطتين على المسافة الأفقية ونضرب الناتج فى رقم (٦٠)(*) وهو رقم ثابت والناتج يمثل زاوية الانحدار.

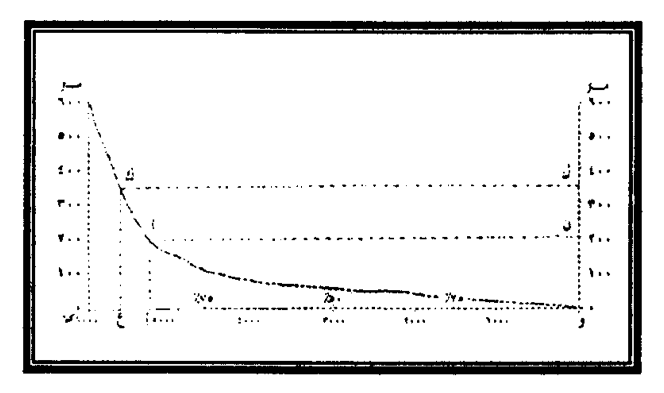
ويمكـــن استخدام الآلة الحاسبة(**) للحصول على يقمها بسهولة خاصة فيما يتعلق بالقياسات الخاصة بالأراضى المنحدرة.

كمـــا يجـــب تحديـــد اتجاه الانحدار على طول خط القياس بين النقطتين المراد حساب معدل الانحدار أو درجته وذلك باستخدام المنقلة على الخريطة.

(جـ) تحليل الانحدار والارتفاعات :

(١) المنحنى الهيبسومترى :

وهـــو مـــنحنى تكرارى متجمع يوضح العلاقـــة بـــين ظاهـــرتين متغيرتين هما الارتفاع والمســـاحة، وهـــو يعـــد أيضـــاً ضـــمن الطرق المورفومـــترية التى تعطى فكرة شاملة عن السطح وخصائصـــه ويمكـــن إتبـــاع الخطوات الآتية فى تصميم هذا المنحنى :



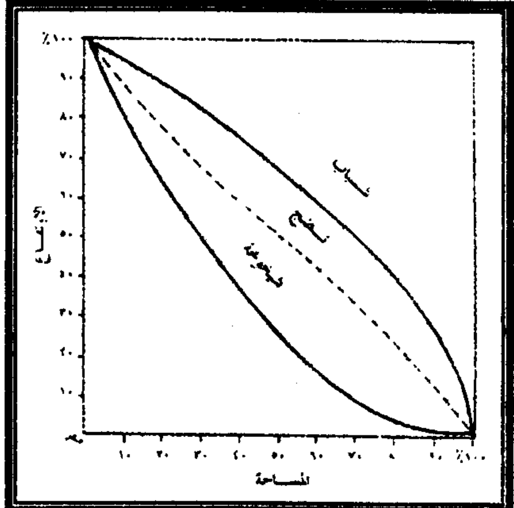
شكل (٩٠) المنحنى الهيبسومترى

- تقـــاس مساحة كل من النطاقات الكنتورية – المساحة بين كل خطى كنتور متتالين – قياساً دقيقاً باستخدام أجهزة قياس المساحات على الخرائط.
- نرســـم محورين أفقى لتمثيل المساحات ورأسى لتمثيل الارتفاعات، ويراعى فى تقسيم المحور الأفقى تقسيمه إلى أجزاء قياسية تكتب عليها أرقام بالتدريج تنتهى بالمساحة الكلية لجميع النطاقات.
- ينـــبغى مـــرعاة ما يجب مرعاته فى رسم المنحنيات التكرارية المتجمعة بصفة عامة فى أن توقع النقط التى يرسم هذا المنحنى عند الحد العلوى لفئة المنسوب، أى أمام الرقم الثانى من رقمى كل نطاق كنتورى وكذلك عند الحد العلوى للمساحة المقابلة لكل نطاق.
- إذا كـــان مـــن المفضل أن تبين المساحات للنطاقات الكنتورية كنسب مئوية فيمكن توضيح ذلـــك على المحورين الأفقى والرأسى وذلك بكتابة أرقام تبدأ من الصفر وتنتهى إلى ١٠٠٪ عند نهاية كل من المحورين شكل (٩٠).

(*) زاوية الانحدار = $\frac{\text{الفاصل الرأسى}}{\text{المسافة الأفقية}}$ × ٦٠.

(**) يتم ذلك بالضغط على *mv+tan* أو *ARC+tan* أو *shift+tan* (للاستزادة راجع محمد محمود طه، المرجع السابق. ص٥٧).

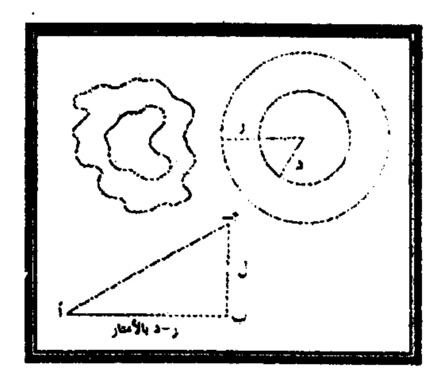
ولا شـــك فى أن المنحنى الهبسومترى المصمم بالنسب المئوية يعد على درجة كبيرة من الأهمية خاصـــة فى الدراســـات المقارنة بين أحواض التصريف النهرى وفى هذا المجال يذكر ستريلر Strahler أنـــه لـــيس هناك شروطاً متفق عليها لتناسب طول المحور الأفقى مع المحور الرأسى إلا أن من المفضل فى دراســـات التصـــريف الـــنهرى وتوضـــيح خصائص الأحواض أن يتماثل طول المحورين.



شكل (٩١) المنحنى الهبسومترى والمرحلة الجيومورفولوجية لحوض النهر التى يدل عليها تبعاً لما ذكر آنفاً

ويـــدل المـــنحنى الهبســـومترى عـــلى المرحلة الجيومورفولوجـــية الـــتى يمـــر بها حوض التصريف إذ أن المـــنحنى إذ وقع بشكل ممتد بعيداً عن نقطة الأساس فهذا يعـــنى مـــرحلة الشباب، وإذا كان فى موقع متوسط فهذا يعـــنى مـــرحلة النضـــج، أما إذا كان المنحنى يمتد معظمه بالقـــرب مـــن نقطـــة الأســـاس فهذا يدل على مرحلة الشيخوخة شكل (٩١).

(٣) المنحنى الكلينوجرافى : *Clinographic*



شكل (٩٣) فكرة المنحنى الكلينوجرافى

لا يمكـــن الاعـــتماد عـــلى المنحنى الهبسومترى فى معـــرفة درجة انحدار السطح فهو منحنى إحصائى أقصى ما يمكن أن يوضحه التغير فى السطح وشكل الانحدار وذلك حسب ضيق المساحة أو اتساعها فى فئة المنسوب.

ويفـــيد المـــنحنى الكلينوجرافى فى معرفة متوسط الانحـــدار بـــين كـــل خطى كنتور متتاليين، ولمعرفة درجة الانحدار بين كل خطى كنتور متتاليين فى الخريطة الكنتورية نتبع الخطوات التالية :

وللحصـــول عـــلى درجة الانحدار بين خطوط الكنتور تقاس المساحة المحصورة بين الخطوط الكنـــتورية، وتعامل هذه المساحات وكأنها مساحات دوائر منتظمة ومنها يمكن استنتاج نصف القطر، وكما هو معروف أن مساحة الدائرة = ط × نق^{2}، أى نصف القطر.

$$\text{نق} = \sqrt{\frac{\text{المساحة}}{\text{ط}}}$$ ، انظر الشكل (٩٢).

وتعتبر أنصاف أقطار الدوائر الممثلة للمساحات المحصورة بخطوط الكنتور هي الخطوة الأساسية في حساب درجة الانحدار بين كل خط كنتور وآخر فالفرق بين نصفي قطر دائرتي خطي كنتور متتاليين يمثل المسافة الأفقية.

والذى يتضح فيه أن الضلع (أ ب) ممثلاً للفرق بين نصف القطر والضلع (ب جـ) ممثلاً للفاصل الرأسي بالخريطة وهو ثابت، والزاوية (ب أ جـ) هي زاوية الانحدار ويمكن معرفتها بتطبيق القانون التالي :

$$\text{ظـا الزاوية} = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = \frac{\text{ل}}{\text{د} - \text{ر}}$$

حيث أن :

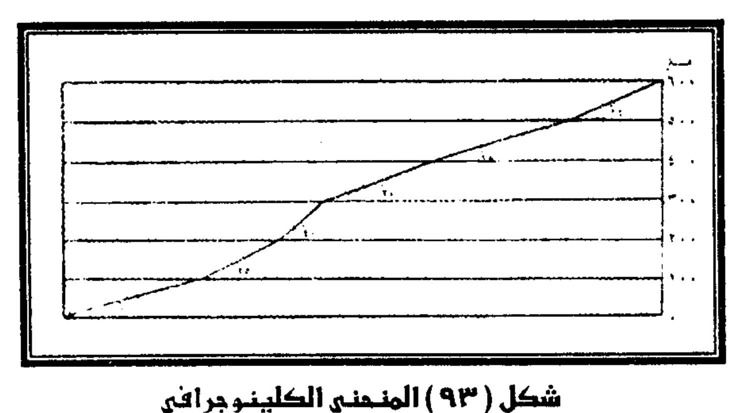
ل = الفاصل الرأسي بين خطوط الكنتور.

ر = نصف قطر الدائرة الكبرى.

د = نصف قطر الدائرة الصغرى.

وبذلك نحصل على درجة الانحدار بين خطوط الكنتور بالخريطة، ولرسم هذا المنحنى نتبع الخطوات التالية :

- نرسم محورين أحدهما أفقي والآخر رأسي حيث يمثل طول المحور الأفقي بواسطة نصف قطر الدائرة الممثلة لأدنى خط كنتور بالخريطة ويختار له مقياس رسم مناسب أو يستخدم مقياس رسم الخريطة الكنتورية.



شكل (٩٣) المنحنى الكلينوجرافي

- نبدأ المنحنى الكلينوجرافي باستخدام المنقلة وتوقيع كل زاوية انحدار بين كل من خطي كنتور متتاليين. ر.. الخطوط الدالة على زوايا الانحدار المختلفة على استقامتها فنحصل على خط المنحنى، شكل (٩٣).

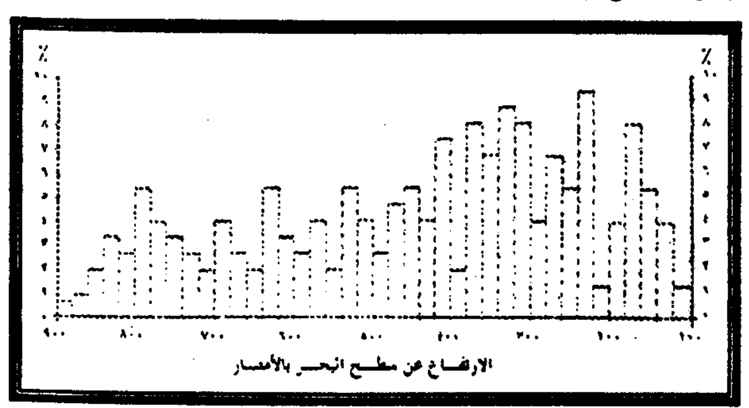
(٣) المنحنى الألتيمترى : *Altimetric Frequency*

قــد يكون معرفة المنسوب الدقيق المنسوب الدقيق لنقطة ما فوق سطح اليابس أقل أهمية من معرفة العلاقة بين مناسيب مجموعة عديدة من النقط على حدة وهذا ما يوضحه المنحنى الألتيمترى.

يفــيد هذا المنحنى فى معرفة العديد من الظواهر التى تتعلق بالتعرية وهو يعتمد فى إنشائه على طريقة العمدة البيانية النسبية للتوزيعات التكرارية، أى توضيح المناسيب التى يتركز بها التكرار الكبير، ولا شك فى أن العدد الكبير هنا ينفى احتمال وجود سطح التعرية.

ولرسم هذا المنحنى نتبع الخطوات التالية :

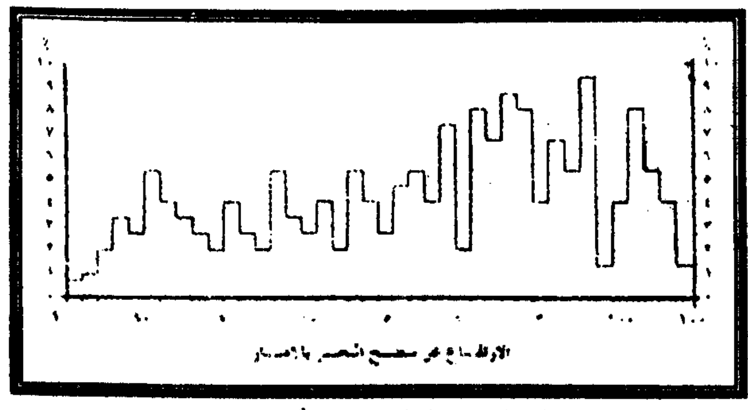
- نرسم محورين أفقى ورأسى ونوقع على المحور الأفقى الارتفاعات من واقع الخريطة الكنتورية وعــلى المحور الرأسى المساحات فتكون المساحة المحصورة بين كل خطى كنتور متتاليين أمام المحــور الرأســى عــلى شكل عمود يرتكز على ارتفاع هذا المنسوب عن سطح البحر انظر الشكل (٩٤) والشكل (٩٥).



شكل (٩٤) طريقة إنشاء المنحنى الألتميترى

- نحذف الخطوط التى تنتهى عند قاعدة الشكل.

ويفيد هذا المنحنى فى إظهار العلاقة بين نقط المناسيب بعضها ببعض، كما يفيد أيضاً فى معرفة التطورات التى طرأت على الأشكال الأرضية التى توضحها الخريطة الكنتورية.



شكل (٩٥) المنحنى الألتميترى

(٤) كوربلث الانحدار :

تهدف هذه الطريقة إلى تحديد المساحات المشتركة فى فئة واحدة من فئات الانحدار ويتم إنشاؤها من خلال الخطوات التالية :

- يتم تقسيم الخريطة الكنتورية إلى مربعات متساوية بحيث تتناسب مع كثافة خطوط الكنتور فى علاقة طردية.
- يتم حساب معدل الانحدار داخل كل مربع فى الاتجاه الأشد انحداراً وتوقع الدرجة وسط المربع.
- يتم تقسيم نتائج القياس (قيم الانحدارات) إلى فئات مناسبة ويتم تظليلها الأخف ظلاً للأقل قيمة وهكذا.

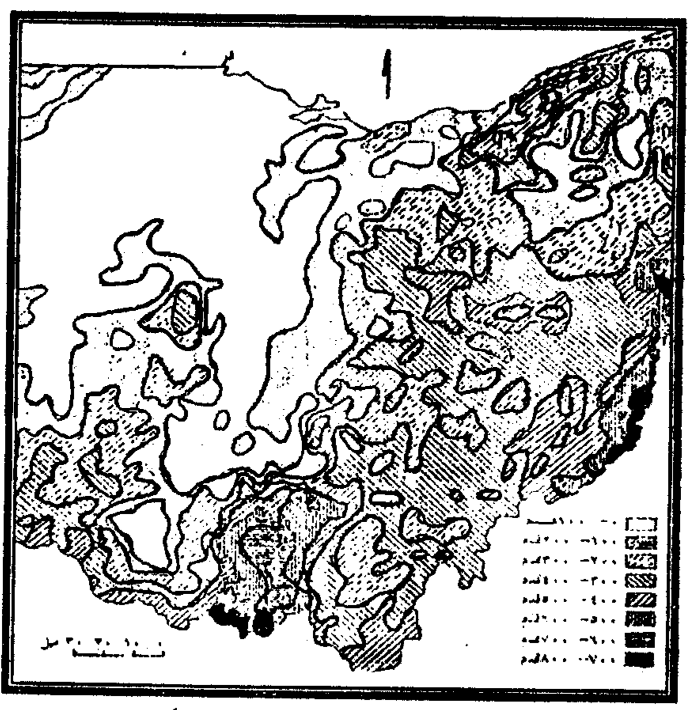
(٥) خريطة الانحدارات : ممثلة بالنقط (خريطة معدل الانحدار)

"خريطة معدل الانحدار" يتم التقسيم كما الحال فى الطريقة السابقة (كوربلث الانحدار) إلى مربعات وتوقع النقط داخل كل مربع بحيث يزداد عددها مع زيادة درجة الانحدار بمعنى أن الانحدار بفئة ما بين (صفر-٤) يوقع لها نقطتان ومن (٤-٨) يوقع بالمربع أربع نقاط وهكذا ينتهى الأمر بعمل خريطة انحدار باستخدام النقطة والتى تكون أكثر دقة فى إعطاء الصورة الواقعية للانحدارات خاصة فيما يتعلق بالمناطق الوعرة شديدة الانحدار وإن كانت قيمتها تقل فى المناطق الأقل تضرساً أو الأكثر تجانساً فى خصائصها التضاريسية (للاستزادة محمد صبرى محسوب وزميله، ١٩٩٦، ص٢٤١). ويؤخذ فى الاعتبار اختيار مدلول النقطة بحيث لا تتلاحم داخل المربعات المزدحمة أو تتعثر بشكل ملفت فى المربعات ذات الانحدار المعتدل.

(٦) خريطة التضاريس النسبية (المحلية) :

بالنظر إلى أية خريطة كنتورية تدرك بأننا لا نستطيع أن نشعر بالمنسوب الحقيقى بالنسبة لسطح البحر ارتفاعاً أو انخفاضاً بقدر ما يتجسد فى الذهن من اختلاف مناسيب النقط بالنسبة إلى بعضها البعض، وهذا يعنى أن الحكم على طبيعة منطقة ما (جبلية - هضبية - سهلية) ليس بالأمر السهل على قارئ الخريطة الكنتورية للمناطق المحدودة المساحة، وبشكل آخر نقول بأن الاعتماد على قراءة خطوط الكنتور وحدها لا تعطى فكرة وافية عن طبيعة المنطقة، وهذا يوضح أهمية دراسة العلاقة بين المرتفعات والمنخفضات فى منطقة ما، أو ما يمكن أن نسميه التضاريس النسبية.

وقد قدم *Smith, 1935, pp: 284* أول دراسة حول هذا الموضوع وكانت بولاية "أوهايو" بالولايات المتحدة الأمريكية، وقد استخدمت فى هذه الدراسة خريطة كنتورية عامة للولاية بمقياس ١ : ٦٠٠,٠٠٠ وقد قُسمت منطقة البحث إلى مجموعة مستطيلات ٤,٤ × ٥,٧ ميل فى الطبيعة ثم قام بحساب الفرق بين ؟أعلى منسوب وأدنى منسوب داخل كل مستطيل ثم وصل بين النقط المتساوية فى الفروق بخطوط تساوى وذلك بفارق رأسى قدره ١٠٠قدم، وقد استخدم ***Smith*** التظليل لإبراز المناطق المتشابهة فى تضاريسها، أنظر الشكل (٩٦).



شكل (٩٦) التضاريس النسبية فى أوهايو

وقــد أخــذ ديكنســـون *Dickinson, G., C, 1973* عن *Smith* سميث طريقته وطبقها بمنطقة شمال إنجلترا واســتخدم فى ذلــك الخرائط الطبوغرافية الإنجليزية مقياس ١ : ٦٣٣٦٠ وحدد لها أكثر من فاصل رأسي، إلا أن خريطة ديكنســـون كانت مختلفة، فهو لم يعتمد على خط القيم المتساوية فى إبراز الاختلاف ولكنه فضل استخدام تظليل المربعات فقط.



شكل (٩٧) خريطة معدل ارتفاع التضاريس

وقد اقترح ملر *Miller* إمكانية تطوير هذه الطــريقة وذلك بقسمة المدى الرأسى بين أعلى نقطة وأوطــأ نقطــة عــلى المسافة الأفقية بينهما ثم رسم خــريطة بخطــوط متساوية بالقيم المستخرجة لتمثيل معدل الانحدار (طه جاد، مرجع سابق، ص٩٤).

وبصفة عامة يمكن القول أن خريطة سميث تناسب مع المــناطق ذات التكوين الرسوبى الأفقى والتى تتميز بانحدار منتظمة وهــذا غالــباً لا يكون إلا فى مناطق السهول، وأيضاً فى المناطق الهضــبية ذات الأسطح شبه المستوية وهذا يعنى أن هذه الطريقة تتناسب مع الظاهرات ذات التاريخ الفزيوغرافى البسيط.

وقد استخدام كل من رويس وهنرى نفس الطريقة وقاما بتطبيقها فى شرق الولايات المتحدة الأمريكــية (ولايــات ماساتشوســـتس، رودايلند، كنيتيكت) وخرجا بنتائج غير مرضية، مما جعلهما يفكــران فى طريقة أخرى جديدة اعتمدت على تقسيم الخريطة إلى مربعات صغيرة على أساس كثافة خطوط الكنتور فى كل مربع شكل (٩٧).

وما من شك فى أن هذه الطريقة تعد من الطرق المثالية فى المناطق ذات التباين النسبى القليل بين التضاريس ومن ثم فهى لا تصلح كمعيار لمعرفة التضاريس المحلية فى السهول التحاتية حيث الأودية العميقة والتلال البارزة. كما أنها لا تصلح فى المناطق المعقدة جيولوجياً والتى تعاقب عليها أكثر من دورة تحاتية.

(٧) خريطة معدل ارتفاع التضاريس :

وتهدف هذه الخريطة إلى توضيح نسبة الأراضى – المرتفعة أو المنخفضة – إلى إجمالى مساحة الخريطة. كما أنها تفيد بشكل عام فى التعرف على أنواع الانحدارات.

يتم رسمها على النحو التالى :

- وضع ورقة كلك على خريطة كنتورية ورسم شبكة مربعات وتوقع عليها قيمة الخط كنتور بالمربع داخله.
- تظليل المربعات بدرجات حسب القيم الموجودة ثم مسح المربعات ذات الظل الواحد

ثالثاً : التحليل المورفومترى للخريطة الكنتورية :

مقدمة :

يقصد بالتحليل المورفومترى ذلك النوع من التحليل الذى يتناول ظاهرات سطح الأرض معتمداً أساساً على الأرقام والبيانات المأخوذة من الخريطة الكنتورية والصور الجوية والفضائية وبجانب الدراسات الحقلية فى مناطق ظهور الظاهرات المطلوب تحليلها ودراستها مثل مجرى نهر أو قطاع فى ساحل وغير ذلك من ظاهرات وأشكال.

والحقيقة أن وسائل التحليل الكمى قد بدأت تحتل مكاناً بارزاً فى دراسة الخصائص الجيومورفولوجية لأشكال سطح الأرض وتحل محل الأساليب الوصفية فى تحليل شبكات التصريف النهرى والسفوح والأحواض وأشكال الإرساب الرملى وقطاعات السواحل وما بها من ملامح مورفولوجية متعددة.

وكما ذكر آنفاً فإنه من الواجب الأخذ فى الاعتبار أن الدراسة التحليلية والتفسيرية الدقيقة للخريطة الكنتورية لابد أن تكون مزعومة بدراسة ميدانية للمكان، مع إمكانية استخدام الصور الجوية المتاحة للمنطقة محل الدراسة، ولا ننسى كذلك مدى الفائدة التى يمكن أن تعود على النتائج من خلال الاستعانة بالخرائط الجيولوجية.

وبالنسبة لدراسة وتحليل وتتبع مراحل التطور التى مرت بها منطقة من الخريطة الكنتورية. فإن فى هذه الحالة يجب الاستعانة بسلسلة من الخرائط الكنتورية أو من الصور الجوية بتواريخ مختلفة لنفس المنطقة مثل تطور لسان ساحلى *Coastal Spit* أو تطور خط الشاطئ لمنطقة معينة أو تطور مساحة لاجون ساحلى أم تطور قطاع فى مجرى نهر ما كما سيتضح ذلك من الصفحات القادمة والتى سوف تركز الدراسة خلالها على التحليل المورفومترى لأحواض التصريف النهرى وستكون مع مجال لاستخدام الوسائل الكمية فى معالجات مورفومترية لبعض الظاهرات الجيومورفولوجية الأخرى

يهدف استخدام أساليب التحليل المورفومترى إلى زيادة معلوماتنا عن النظام الفعلى لشبكة التصريف المائى وتسهيل عملية التصنيف النوعى لها إلى جانب المساعدة فى معرفة العلاقه بين أحواض التصريف وقنواها المائية (شبكة المجارى) ومعرفة إمكانية المقارنة بين أحواض التصريف المختلفة، ثم محاولة التوصل إلى تعميمات مفيدة وقوانين – إذا أمكن – تحكم العلاقة بين الأحواض والمجارى المائية بطرق موضوعية وأساليب رياضية (صفوح خير، ١٩٩٠. ص٣١).

(أ) تركيب النظام النهرى :

من الأمور الأساسية فى ذلك معاجلة خصائص حوض التصريف النهرى ودراسات شبكات القنوات النهرية التى يتضمنها داخله، وكذلك منطقة تقسيم المياه التى تحده (تحيط به) وتفصله عن غيره من أحواض تصريف مجاورة.

والواقع أن تنظيم شبكة القنوات النهرية ذات أهمية كبيرة، لأنها تعكس كفاءة خطوط التصريف الرئيسية فى نقل كل من الطاقة *Energy* والمواد *Materials* التى تتدفق داخل نظام حوض التصريف النهرى، إلى جانب ذلك فإن العديد من الخصائص المورفولوجية للحوض (حجمه وطول قنواته وكثافة تصريفه) يمكن أن ترتبط ارتباطاً مباشراً بالخصائص الهيدرولوجية مثل تصريف الماء من الحوض.

وكما نعرف فإن الحوض النهرى توجد بها مجموعة من الخصائص *Properties* التى يمكن قياسها، مما يساعد على تجديد خصائص الشبكة وحوضها والتى يُظهر الجدول التالى (٢١) بعضاً منها والخاص بخصائص حوض التصريف.

جدول (٣١) المتغيرات المورفولوجية لأحواض التصريف النهرى

المتغـــــير	الرمـــز وشكـــل المعادلـــة
أولاً هندسة الحوض	*(B.G) Basin Geometry :*
١) مســاحة الحـــوض	*AU*
٢) طـــول الحـــوض	*LB*
٣) عـــرض الحـــوض	*Br*
٤) محـــيط الحـــوض	*BP*
٥) اســتدارة الحوض =	مساحة الحوض كم^2 *(AU)* ÷ مساحة دائرة تتساوى مع نفس الحوض فى طول المحيط.
٦) اســتطالة الحوض =	قطر دائرة مساوية لمساحة الحوض بالكم^2 ÷ طول محيطه.
٧) شـــكل الحـــوض =	مساحة الحوض بالكم^2 ÷ مربع طول الحوض بالكم.
٨) معـــامل الاندماج =	محيط الحوض بالكم ÷ محيط دائرة يكافئ مساحتها مساحة الحوض بالكم.
ثانياً : قياس الارتفاعات :	
١) التضـــرس الكـــلى =	أعلى نقطة فى منطقة تقسيم المياه – أدنى نقطة (عند المصب) $H = z - z$
٢) معـــدل التضـــرس =	الفارق التضاريسى (التضرس الكلى) ÷ طول الحوض بالمتر $Rh = H/Lb$
٣) التضاريس النسبية =	التضرس الكلى بالمتر ÷ محيط الحوض بالمتر × ١٠.
٤) قـــيمة الوعـــورة =	
٥) دليل التضرس =	CM = H ton Q حيـــث أن (H) يمـــثل ارتفاع المنطقة و (ton Q) يمثل ظل الزاوية متوسط الانحدار داخل الحوض(*).
٦) معدل انحدار السطح =	(ظـــا ح = ف × ع ÷ ٣٣٦١ "رقم ثابت") حيـــث أن (ظـــا ح) = ظل زاوية الانحدار، (ف) = الفاصل الرأسى بين خطوط الكنتور محسوباً بالأقدام، (ع) = عدد خطوط الكنتور التى تمر بخطوط القطاعات فى كل ميل واحد، وتعرف هذه المعادلة ونتوورث Wentworth Equation.

وعـــادة مـــا يظهـــر التحليل الإحصائى أن أغلب التباين فى القياسات المورفومترية لأحواض التصـــريف النهرى ترجع إلى التباين فى مساحة الحوض ومجمل أعداد القنوات المائية ومعدل التضرس الكلى للحوض *Total Relief* وتكرار الرتب وغيرها

(*) استنتج فوربيه دليل التضرس Relief Index والذى إذا بلغ أقل من (٦) فيعنى ذلك أن النهر وحوضه يوجدان فى منطقة ذات مناخ معتدل، وإذا زاد عن (٦) فإنه يوجد فى منطقة [illegible] حالة

فقد ظهر أن هناك ارتباطات قوية بين المتغيرات التالية :

(أ) كل من مساحة الحوض ومجموع أطوال القنوات المائية فى كل رتبة ومتوسط أطوالها فى الرتبة الواحدة.

(ب) العدد الكلى للقنوات المائية وعدد القنوات فى كل رتبة.ط

(جـ) تكرار القنوت وكثافة التصريف ونسبة التضرس الكلى للحوض.

(د) التضرس الكلى للحوض والتضرس النسبى المحلى لجانبى الوادى.

وقد أضاف ملتون *Melton, 1958* زاوية السفوح الجانبية ورقم الوعورة واعتبرهما من العناصر الأساسية الهامة فى نظام حوض التصريف، حيث تمثل جوانب الوادى النهرى مصدراً رئيسياً لرواسبه إلى جانب ما يأتى منها إلى النهر من مياه.

وقد أظهر كذلك كل من *Hack and Goodletl, 1960* خمسة أنواع من هذه السفوح وإبراز مدى تأثير كل نوع منها على النهر وروافده داخل الحوض، يمكننا أن نوجزها فيما يلى :

(١) البروز أو الأنف *Nosa*:

تمد اجف المناطق وتبدو كنتوراها من الخريطة محدبة ففيما يشبه البروزات أو النتوءات الجبلية *Spurs*.

(٢) السفح الجانبى : *Side Slope*

تأخذ كنتوراته الشكل المستقيم وهى تستقبل مياهها من البروز وعادة ما تكون أكثر رطوبة منها، ويأخذ الجريان السطحى نمطاً خطياً على طول السفح *(Cooke, R., U., and Doornkamp, 1974)*.

(٣) الثغرات :

تظهر بها خطوط الكنتور مقعرة مع تباعدها باتجاه القناة النهرية وهى أكثر أنواع السفوح رطوبة.

(٤) أقدام السفح :

وهو الجزء السفلى الأقل انحداراً على طول قناة النهر وعادة ما يتكون سطحه من مفتتات صخرية.

(٥) قاع الوادى :

وهو الذى يجرى خلاله النهر.

وفيما يلى دراسة تفصيلية للخصائص المورفومترية لحوض النهر :

قبل التعرض للخصائص المورفومترية لحوض التصريف النهرى يمكننا أن نظهر أهم المتغيرات المرتبطة به على النحو التالى :

(١) مساحة حوض النهر : *AU*

تتمثل أهمية مساحة الحوض كمتغير مورفومترى فى التأثير على حجم لتصريف المائى داخل حوض النهر، حيث توجد علاقة طردية بين كل من المساحة الحوضية وحجم التصريف المائى بشبكة التصريف النهرى.

ويمكـــن حســـاب مساحة الحوض من الخريطة الكنتورية بواسطة عدد من طرق القياس مثلها مـــثل غيرها من الظاهرات الجيومورفولوجية مثل البحيرات والجزر والحواجز البحرية والدالات النهرية والمراوح الفيضية وغيرها.

ومـــن طـــرق قـــياس المســـاحات طريقة القياس بجهاز البلانيميتر الذى يعد من الأجهزة سهلة الاستخدام ودقيقة النتائج، على أن يتم القياس به عدة مرات وأخذ متوسط القياسات (محمد عاشور، ١٩٨٣، ص١١٧).

وتوجـــد وسيلة تقليدية للقياس تتمثل فى تقسيم الحوض المراد قياس مساحته على الخريطة إلى عـــدد مـــن المربعات أو المثلثات ثم القيام بحساب مساحة كل مربع أو مثلث على حدة، وبالتالى يمكن حساب مساحة الحوض ككل.

ومـــن الوســـائل الحديثة لقياس المسحات القلم المتتبع الإلكترونى *Digitiser* والذى يعد من أكـــثر وسائل قياس المساحات دقة وسرعة رغم تكلفته المرتفعة (جودة وزملاؤه، ١٩٩١، ص٢١٩)، وتوجـــد وســـيلة أخرى تعتمد على قص المنطقة المراد قياسها من الخريطة المرسومة على ورق كلك ثم القـــياس بوزنها وحساب مساحتها بعد ذلك مع الأخذ فى الاعتبار أهمية الدقة فى هذه الوسيلة والتأكد من ثبات كثافة الورق فى كل أجزاء الخريطة.

(٢) عرض الحوض :

يتم قياسه عن طريق القيام بعمل خطوط متوازية من الصب إلى المنبع وأخذ قياسات لكل منها وإيجـــاد متوسط لها يمثل متوسط عرض الحوض، ويمكن الحصول عليه كذلك من خلال قسمة مساحة الحـــوض عـــلى طوـــله، ويمكننا أيضاً الحصول على أقصى عرض للحوض وهو بالطبع أطول خط من الخطـــوط المتوازية سابقة الذكر، يفيدنا هذا المتغير فى تحديد شكل الحوض من خلال النسبة بين الطول إلى العرض الحوضى.

(٣) طول الحوض :

يمثل أحد المتغيرات المورفومترية الهامة إلى ترتبط بالعديد من الخصائص الأخرى الخاصة بحوض التصـــريف، ويحدده *Schumm* بخط يمتد فيما بين نقطة مصب النهر حتى أعلى نقطة فى منطقة تقسيم لماه باتجاه المنبع.

ويرى ما كسويل *Maxwell, 1960* بأنه يمكن تحديد طول الحوض من خلال قياس طول خط مـــواز للقناة النهرية الرئيسية من المصب حتى المنبع، ويمكن حسابه أيضاً من خلال خط ممتد من مصب النهر للقناة الرئيسية حتى نقطة تنصف الحوض.

(٤) محيط الحوض :

يرتبط محيط الحوض كمتغير مورفومترى بالعديد من الخصائص المورفومترية الأخرى مثل شكل الحوض واستطالته واستدارته، ويعد فى الواقع من أيسر المتغيرات فى قياسه بواسطة المقسم *Divider* أو عجلة القياس أو بطريقة الخيط التقليدية (جودة وزملاؤه، المرجع السابق، ص٢١١).

أما عن خصائص الحوض المورفومترية فعادة ما ترتبط بشكله وتضاريسه ويمكننا أن نوجزها فيما يلى :

(أ) شكل الحوض :

تفيد دراسة شكل الحوض فى تفهم التطور الجيومورفولوجى له والعمليات التى شكلته إلى جانب تفهم مدى تأثير الشكل على حجم التصريف النهرى.

ويتم قياس شكل الحوض من خلال مقارنته بالأشكال الهندسية الشائعة مثل الدائرة والمستطيل، وكذلك من خلال دراسة الشكل العام له من حيث الاندماج أو الانبعاج ومن خلال النسبة بين طوله وعرضه مع الأخذ فى الاعتبار إمكانية تطبيق مثل هذه الخصائص على الظاهرات الجيومورفولوجية الأخرى، وفيما يلى إيجازاً لبعض المعاملات المورفومترية الخاصة بدراسة شكل الحوض.

(١) معامل الشكل : *Form Factor*

يمكن الحصول عليه من خلال قسمة مساحة الحوض بالوحدة المساحية المربعة على مربع طول الحوض بنفس وحدة القياس، ويدل انخفاض قيمة ناتج القسمة على صغر مساحة الحوض بالنسبة لطولها مما يجعله – أى الحوض النهرى – يقترب من شكل المثلث، حيث يشير هذا المعمل إلى كل من الطول والعرض بالنسبة لمساحة الحوض.

(٢) معدل الاستدارة : *Circularity*

يتم حسابه من خلال قسمة مساحة الحوض بوحدة مساحية مربعة على مساحة دائرة لها نفس محيط الحوض، ويعنى ارتفاع قيمة ناتج القسمة باتجاه الواحد الصحيح اقتراب شكل الحوض من الدائرة والعكس كلما ابتعدت عنه، وفى الحالة الأخيرة يظهر شكل الحوض غير منتظم الأبعاد مع تعرج خطوط تقسيم المياه، مما يؤثر بالتالى على طول القنوات الماشية خاصة تلك الواقعة فى الرتب *Orders* الأولى والثانية القريبة من المنابع (حسن رمضان، ١٩٩١، ص٦).

(٣) استطالة الحوض : *Basin Elongation*

يمثل هذا المقياس (المعامل) النسبة بين قطر دائرة مساوية لمساحة الحوض بوحدة قياس معينة إلى أقصى طول للحوض بنفس وحدة القياس، ويتراوح الناتج ما بين صفر وواحد صحيح، وتكون الأحواض أقرب إلى الشكل المستطيل إذا ما اقترب الرقم الناتج من الصفر(*).

(*) قطر الدائرة التى تتساوى مع مساحة الحوض = $\sqrt[2]{\text{مساحة الحوض} \times \frac{22}{7}}$

(٤) نسبة طول الحوض إلى عرضه : ***Length / Width Ratio***

تعد من أبسط المعاملات المورفومترية الخاصة بقياس مدى استطالة الحوض، ويدل ارتفاع قيم هذه النسبة على شكل الحوض من المستطيل وذلك وفقاً لما ذكره ملر *Meller, 1974*.

(٥) معامل الاندماج : ***Coefficient Compactness***

يمكـنـا الحصـول علـيـه من خلال قسمة طول محيط الخوض بوحدة قياس معينة على محيط الدائـرة الـتى تساوى مساحتها مع مساحة الحوض، ويعنى ما سبق أن الشكل يقاس هنا بدلالة محيط الحـوض كأسـاس للقـياس (جـودة وزملاؤه، المرجع السابق، ص٢٣٠) والمقارنة بدلالة المساحة الحوضـية، وتشـير قـيمه المنخفضة إلى أن حوض التصريف النهرى قد قطع شوطاً أطول فى مراحل تطـوره، أما قيمه المرتفعة فتدل على أنه يتميز بمحيط طويل على حساب مساحته وبشكل أوضح فإن محيطه متعرج وشكله أقل انتظاماً.

(ب) تضرس حوض التصريف النهرى :

تـبرز أهمـية دراسـة تضرس الحوض النهرى باعتباره انعكاساً لنشاط عمليات التعرية وأثرها فى تشكل سطح الأرض داخل حدود الحوض إلى جانب إبرازه لأثر أنواع الصخور وخصائصها الليثولوجية.

(١) معدل التضرس : ***Relief Ratio***

يـتم الحصول على معدل التضرس من خلال قسمة تضاريس الحوض (الفرق بين أعلى نقطة داخـل مـنقطة تقسيم المياه وأدنى نقطة والتى عادة ما تكون عند المصب) إلى طول الحوض، وتتناسب قيمة هذا المعدل تناسباً طردياً مع درجة تضرس الحوض وفقاً لما ذكره *Schumm*.

(٢) التضاريس النسبية : ***Relative Relief***

يمكـن الحصـول عليه من خلال قسمة تضاريس الحوض على محيطه بالكيلو متر × ١٠ وتجد علاقة ارتباطية سالبة بين التضاريس النسبية ودرجة مقاومة الصخر لعوامل التعرية وذلك فى حالة ثبات الظروف المناخية (جودة وزملاؤه، المرجع السابق، ص٣٢٤).

(٣) معدل انحدار سطح الحوض : ***Average Slope***

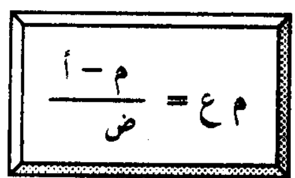
ويأخذ شكل القانون التالى :

ظـا ح = ف ×ع ÷ ٣٦١٠ (رقم ثابت).

ويقصــد بــه المتوســط العام لانحدار سطح الأرض داخل الحوض بالنسبة للمستوى الأفقى للســطح ويمكــن الحصول عليه بالقيام برسم عدد من الخطوط القطاعية داخل الحوض أو أى منطقة أخــرى وذلــك فى اتجاهات مختلفة بالخريطة الكنتورية وبعد ذلك يتم حصر عدد خطوط الكنتور التى تقطعهــا هــذه الخطوط ثم يتم إيجاد متوسط انحدار السطح باستخدام معادلة ونتوورث سابقة الذكر (حسن أبو العنين، ١٩٨١، ص٧٢).

(٤) معدل ارتفاع المنطقة الحوضية : *Elevation Relief Ratio*

يمكنــنا مــن خلال تطبيق هذا المعدل الحصول على نسبة مساحة كل جزء من أجزاء المنطقة ســواء كانــت جبلــية أو هضــبية أو سهلة إلى جملة المساحة ويتم ذلك من خلال الخريطة الكنتورية بالبلانيمــتر ويمكــن معرفة معدل الارتفاع كذلك عند تحديد متوسط ارتفاع المنطقة وطبيعة سطحها المحلى كما يظهر ذلك من المعادلة الآتية :



$$م\,ع = \frac{م - أ}{ض}$$

حيث أن :

م ع = معدل الارتفاع.

ض = التضرس الكلى (الفارق بين أعلى نقطة وأدنى نقطة).

م = متوسط ارتفاع المنطقة.

أ = أدنى منسوب.

رابعاً : الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف المائى بأحواض التصريف النهرية :

يعد الشكل العام لروافد النهر بروافدها المختلفة داخل حوضه نتاجاً أو انعكاساً للعلاقات بين خصائص صخور المنطقة وأشكالها التركيبية من جانب وظروف المناخ (الحالى والقديم) من جانب آخر، حيث تعكس خصائص الصخور من حيث درجة النفاذية والصلابة *Hardness* والانحدار العام لسطح الأرض والصــور البنائية (التركيبية) من صدوع وفواصل *Joins* وقواطع *Dykes* وشقوق *Fissures* وغيرهــا وأثــر ذلك فى تعديل المظهر العام لشكل التصريف وتحديد نشاط مجاريه بالإضافة إلى درجة التطور الجيومورفولوجى لحوض الادى (المرجع السابق، ص ص ٤٣٦-٤٥٢).

ويتم قياس خصائص التصريف النهرى من خلال حساب معدلات التشعب التى تظهر أهميتها فى ارتــباطها بمعدلات التصريف، حيث توجد علاقة بين حجم التصلايف ومعدل التشعب، فكلما قل التشعب زاد خطر الفياضانات عقب حدوث السيول أو زيادة الوارد من المياه إلى النهر.

ويوضح الجدول التالى (٢٢) عدداً من المتغيرات الهامة المرتبطة بشبكات التصريف المائى داخل الحوض النهرى والتى يمكن من خلال تفهم أبعادها وخصائص علاقتها ببعضها إبراز العديد من الخصائص المورفومترية والمورفولوجية للنهر وروافده داخل أحواضها.

الجدول (٢٣) عدد من المتغيرات المورفومترية لشبكات التصريف النهرى

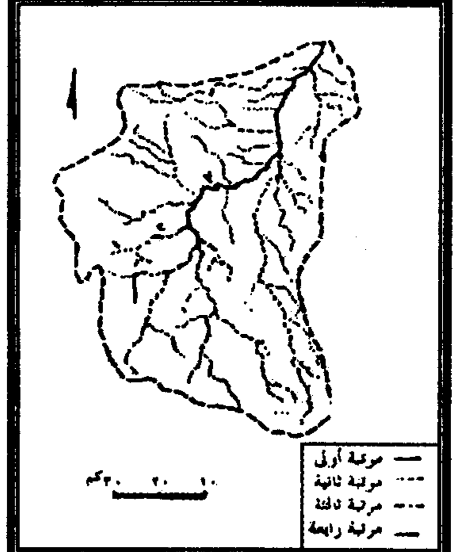
المتغير	الرمز أو شكل المعادلة
أولاً : شبكة التصريف :	
١) رتبة النهر	*U* (م)
٢) عدد المجارى فى الرتبة	*Nu* (ع م)
٣)نسبة التشعب	س ن = ع م ÷ ع م + ١
٤) مجموع طول المجارى فى الرتبة	***LU***
٥) متوسط طول المجارى فى الرتبة	***Lu = Lu/Nu***
ثانياً : كثافة التقطع :	***Density of Dissection***
١) الكثافة التصريفية =	مجموع أطوال المجارى ÷ المساحة الكلية لحوض النهر، فإذا ما بلغت الكثافة مثلاً (١٥) فمعنى ذلك أن هناك ١٥كم من المجارى لكل كم٢
٢) نسيج الحوض =	(نسبة التقطع الطوبوغرافى = طول أكثر الكنتورات تعرجاً ÷ طول محيط الحوض)
٣) تكرار القنوات أو المجارى =	(نسبة التقطع الطوبوغرافى = طول أكثر الكنتورات تعرجاً ÷ طول محيط الحوض)
ثالثاً : مقاييس أخرى :	
١) دليل التضفر : ***Braiding Index (BI)***	ويأخذ الشكل التالى : ***BI = 21 / M*** حيث أن : ***BI*** = دليل التضفر ***I*** = مجموع أطوال الجزر الصخرية داخل المجرى. ***M*** = طول المجرى مقاساً من منتصف المسافة بين جانبيه.
٢) معامل التعرج =	الطول الفعلى بين نقطتين ÷ طول الخط المستقيم بين نفس النقطتين، ويستخدم هذا المعامل فى قياس قطاعات الأنهار أو خطوط الشواطئ وغير ذلك لإبراز درجة التعرج بحيث أنه كلما زادت القيمة الناتجة عن واحد صحيح كلما زاد تعرج الخطوط.

أ) معدل التشعب : *Bifurcation Ratio*

يقصد به النسبة بين عدد القنوات المائية لرتبة ما وبين عدد القنوات المائية للرتبة التالية لها.

ويعد معدل التشعب من المقاييس المورفومترية الهامة نظراً لأنه يعتبر أحد العوامل التى تتحكم فى معدل التصرف، إلى جانب أنه كلما زاد خطر الفيضانات.

ويعتمد أسلوب تحليل شبكة التصريف المائى على ترتيب الروافد المائية بشكل هرمى، حيث تتألف مجارى الرتبة الأولى من مسيلات أو روافد صغيرة تليها رتبة أعلى، أكبر حجماً وأكثر اتساعاً وطولاً، وتوجد أساليب مختلفة لترتيب المجارى المائية داخل أحواضها، أكثرها شيوعاً واستخداماً طريقة شترهيلر *(Slrahler, 1965)*.



شكل (٩٨) مراتب الأودية بحوض بيشة الأعلى

ويوضح الشكل التالى (٩٨) أن أصغر المجارى والتى لا تتصل بها مجارى أخرى تمثل المرتبة الأولى وحيثما يلتقى أحدها مع تمثيله يشكلان مجرى آخر أعلى رتبة يمثل أحد مجارى الرتبة الثانية، أما مجرى الرتبة الثالثة فيتشكل من التقاء مجرى من المرتبة الثانية بمثيله من نفس المرتبة، مع الأخذ فى الاعتبار أن الرتبة لا تزداد درجة إلا إذا التقى مجريان من نفس الرتبة، ومن ثم فإن التقاء مجرى من الرتبة الرابعة مثلاً بمجرى من الرتبة الخامسة لن يغير من الأمر شيء.

ويمثل ترتيب المجارى بداية التحليل الكمى لشبكة التصريف المائى وذلك من خلال تطبيق المعاملات المورفومترية المختلفة.

ويحسب معدل التشعب لحوض ما من خلال إيجاد معدل التشعب لكل رتبتين متتاليتين، ثم إيجاد متوسط المعدلات للرتب، كما يظهر ذلك من الجدول التالى (٢٣) الذى يوضح معدل التشعب لروافد وادى بيشه الأعلى بمنطقة عسير بالمملكة العربية السعودية (محمد صبرى محسوب، ١٩٨٧، ص٢٨).

جدول (٢٣) معدل التشعب بحوض وادى بيشه الأعلى

الرتبة	طول الأودية	عدد كل رتبة	معدل التشعب	العدد لكل رتبتين	النسبة × العدد	متوسط أطوال الأودية كم
١	٤٥٠	٤٥	٤,٩	٥٦	٢٧٤,٤	١٠
٢	٢٠	١١	٣,٦٦	١٤	٥١,٢	١,٨
٣	٤	٣	٣	٤	١٢	١,٣
٤	٧	١				٧
المجموع	٦٠				٣٣٧,٦	

يتضح من الجدول السابق والشكل (٩٨) أن عدد روافد وادى بيشه الأعلى ٥٩ رافداً من الرتب الأولى ٤٥ روافد ومجموع أطوالها ٤٥٠ كيلومتر بمتوسط طول عشرة كيلومترات، ويبلغ عدد روافد الرتبة الثانية ١١ رافاً بمجموع أطوال ٢٠ كيلومتر، ومتوسط الطول ١,٨ كيلومتر (محمد صبرى محسوب، ١٩٨٧، ص٢٩).

ويـق العدد فى الرتبة الثالثة إلى أربعة فقط بمتوسط طول ١,٣ كيلومتر، ويبلغ طول الوادى الرئيسى حتى خط عرض ١٩°ش سبعة كيلومترات، ويبلغ معدل التشعب بين هذه الرتب على التوالى ٤,٩ – ٣,٦٦ و ٣ فقط.

وطبقاً لقانون شتيلر فإن معدل التشعب لحوض وادى بيشه الأعلى يبلغ ٤,٥٦ وذلك نتيجة قسمة نسبة التشعب فى العدد وقيمتها ٣٣٧,٦ ÷ مج العدد لكل رتبتين وقيمته ٧٤.

ويمكننا من الأرقام الواردة بالجدول السابق أن نخرج بالملاحظات التالية :

- بينما يبلغ متوسط طول مجارى الرتبة الأولى ١٠كم، نجد أن متوسط طول أودية الرتبة الثانية × و ١كم فقط وفى التربة الثالثة ١,٣كم، ويبلغ طول الوادى الرئيسى (الرتبة الرابعة) ٧كم.
- يرجع السبب فى زيادة أطوال روافد الرتبة الأولى إلى شدة تعرجها، حيث تلتف حول الكتل الجبلية، إلى جانب أن بعضها يمتد خلا خطوط صدعية لمسافات بعيدة نسبياً.

(ب) كثافة التصريف : *Drainage Density*

تبدو أهميتها فى كونها تعبر عن أثر كل من نوع الصخر ونظامه والتربة والتضاريس والغطاء النباتى، ويظهر كذلك أثر الإنسان على شبكة التصريف المائى.

وفيما يلى بعض المقاييس التى تستخدم فى التعبير عن درجة كثافة التصريف النهرى.

(ا) الكثافة التصريفية :

تمثل العلاقة النسبية بين أطوال القنوات النهرية والمساحة التجميعية لأحواضها، فعندما تزداد أعداد وأطوال القنوات المائية تقل درجة انحدار سطح الأرض داخل الحوض، ويمكننا من خلال المعامل تفهم درجة نمو وتطور نظم التصريف بالحوض النهرى (حسن أبو العنين، المرجع السابق، ص٤٥٥).

ويتم حساب الكثافة التصريفية من القانون التالى :

الكثافة التصريفية = مجموع أطوال المجارى ÷ مساحة الحوض

وتبلغ قيمتها فى حوض وادى بيشه (٠,٨) وهى كثافة أقل قليلاً من المتوسط وفقاً لهورتون *Horton* الذى يرى أن الكثافة التصريفية ترتفع إلى ١,٢٤كم/كم^{2} فى المناطق المضرسة ذات الصخور والمطر الغزير، بينما تنخفض فى المناطق التى تجرى فيها الأنهار فى صخور عالية النفاذية.

(٢) تكرار المجاري :

يتم من خلاله قياس النسبة بين أعداد القنوات المائية داخل الحوض – بصرف النظر عن طولها – والمساحة الحوضية، ويعد ذلك واحداً من المقاييس التى تبرز كثافة التصريف.

(٣) معدل بقاء المجاري :

أقترحه *Schumm* للدلالة على متوسط الوحدة المساحية اللازمة لتغذية الوحدة الطولية الواحدة من قنوات شبكة التصريف، بمعنى أنه كلما كبرت قيمة الناتج كلها دل ذلك على اتساع المساحة الحوضية على حساب قنوات مائية محدودة الطول.

ويأخذ شكل المعادلة التالية :

$$\text{معدل بقاء المجرى} = \frac{\text{المساحة الحوضية}}{\text{مجموع أطوال المجارى}} = \frac{1}{\text{الكثافة التصريفية}}$$

أى أن معدل بقاء المجرى أو القناة المائية يحسب كمقلوب جبرى للكثافة التصريفية.

(جـ) التباعد بين القنوات المائية :

تتأثر درجة تباعد القنوات المائية داخل الحوض بخصائص الصخور من حيث الصلابة وكثافة الشقوق والفواصل وخطوط الصدوع داخل حوض الوادى وتظهر صورة المعادلة الدالة على درجة التباعد أو المسافة بين القنوات داخل الحوض فيما يلى :

$$\text{متوسط المسافة بين القنوات} = \text{جا } ٤٥ \times \frac{\text{س}}{\text{ع}}$$

حيث أن :

(س) : هو خط يرسم على الخريطة بحيث يقطعه أكبر عدد من القنوات المائية (الروافد).

(ع) : هو القنوات التى تقطعه.

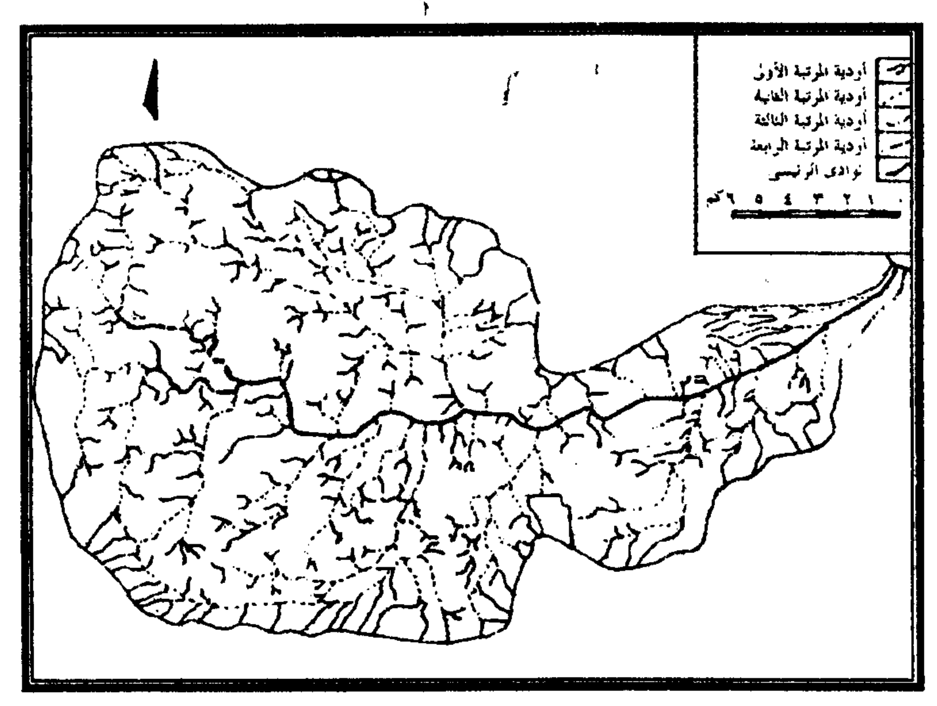
وكلما زاد الناتج دل ذلك على قلة عدد القنوات وتباعدها داخل الحوض والعكس مع انخفاض قيمة المعادلة.

وهناك مقاييس مورفومترية أخرى مثل مقياس زوايا التقاء القنوات المائية ببعضها والتى تتحكم فى اختلافها خصائص التركيب الصخرى لحوض النهر، وأسهل طرق قياسها ما يتمثل فى قياسها من خلال مد خط مستقيم من نقطة الالتقاء حتى نهاية الروافد بغض النظر عن إنشاءاته.

خامساً : أمثلة لقياسات مورفومترية لبعض الأحواض والظاهرات الجيومورفولوجية :

(أ) حوض وادى سفاجا بالصحراء الشرقية :

نلاحظ من الجدول (٢٣) وجود خمس رتب للقنوات المائية بحوض وادى سفاجا وعدد مجارى كل رتبة على التوالى (٣٢٤ و ٩٢ و ١٩ و ٣) وواحد شكل (٩٩) ونسبة التفرع بين هذه الرتب هى (٣.٦ و ٤,٧ و ٦,٢ و ٣) وطبقاً لقانون ستلر *Strahler* فإن معدل نسبة التشعب بحوض وادى سفاجا يبلغ (٣,٩) بمعنى أنه إذا كانت مجارى الدرجة الخامسة واحد كون روافد الدرجة (كونه) الرابعة (٣,٩) (محمد صبرى محسوب، ١٩٩٠، ص١٦٤).



شكل (٩٩) حوض وادى سفاجا

ومن قياس أطوال جميع مجارى الأودية برتبها المختلفة أمكن التوصل إلى متوسطات أطوالها والتى نلاحظ منها التتابع فى أطوال الروافد بالرتبة الأولى حتى الرابعة أبطأ منه فى أى جزء آخر بالمناطق ذات المناخ الرطب، كما أن التدرج من طول المجارى بالرتبتين الأولى والثانية إلى الثالثة صغير إذا ما قورن بالتدرج من الرتبة الثالثة إلى الرابعة ثم يحدث الفرق الكبير بين الرتبتين الرابعة والخامسة، حيث أن متوسط طول مجارى الرتبة الرابعة (٥,٣كم) بينما متوسط الرتبة الخامسة (الوادى الرئيسى) ٢٠كم.

وترجع هذه الفروقات فى الأطوال إلى أن كل الروافد تقريباً من الأولى حتى الثالثة تكون قادة من تلال مرتفعة – شديدة الانحدار – مما لا يعطى فرصة حقيقية لزيادة أطوالها، ومعظمها بلا شك تعيش مرحلة الشباب، بينما نجدها فى المرتبة الرابعة وكذلك الوادى الرئيسى يمتد وسط تكوينات ميوسينية وبليستوسينية فى وضع شبه أفقى مما يعطيها فرصة للانعطاف وبالتالى زيادة فى أطوالها.

أما فيما يختص بنسبة التقطع[*] (معدل النسيج الحوضى) فهى تبلغ فى حوض وادى سفاجا (٤,٨) ويعنى ذلك أن النسيج داخل الحوض متوسط ويرجع ذلك رغم جفاف المنطقة إلى تضرس المنطقة وارتفاعها بالإضـــافة إلى خطوط الصدوع والتشققات الكثيفة بها مما ساعد كثيراً فى زيادة عدد الروافد داخل الحوض مثله فى ذلك مثل كل الأودية تقريباً بجبال البحر الأحمر.

ويجـــدر بـــنا لـــلمقارنة أن نذكر أن نسبة التقطع فى المناطق الوعرة ذات التكوينات الرملية بولايـــة "داكوتـــا" الأمريكية تبلغ (٦٩,٧) أى حوالى (١٤) مرة قدر معدلها فى حوض سفاجا، وتبلغ الكـــثافة التصريفية بحوض الوادى (٠,٩٩) وهى قيمة منخفضة للغاية إذا ما قورنت بمناطق الأراضى الوعـــرة ســـابقة الذكر والتى تبلغ (١١٢,٥) ولا شك أن ذلك يرجع إلى اختلاف الظروف المناخية والخصـــائص الجيولوجية والتركيبية بينهما، كما يرجع ذلك فى جانب منه إلى أن الأرقام والبيانات هنا أخذت من خرائط صغيرة المقياس (١ : ١٠٠,٠٠٠).

(ب) بعض الخصائص المورفومترية لأحواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة بساحل مصر الشمالى :

(١) الأحواض [خصائصها المورفومترية] :

شكل الحوض :

تـــتعدد كمـــا رأيـــنا المعاملات المورفومترية التى تقارن أشكال الأحواض النهرية بالأشكال الهندسية وسوف نطبق بعض هذه المعاملات على النحو التالى :

معدل الاستطالة :

يـــرتفع معدل الاستطالة فى كل من حوضى وادى أبو سمرة ووادى جابر كما يتضح ذلك من الجـــدول الـــتالى (٢٤) والشكل (١٠٠) فيصل فى الأول إلى ٠,٨٦ وفى الثانى ٠,٩٢ مما يعنى أنهما بعـــيدان عـــن الشكل المستطيل ويدل ذلك أيضاً على بساطة تضاريس حوضيهما التى بدورها ترتبط بخصائص الصخور وسهولة تعريتها رغم الجفاف النسبى الذى يسود المنطقة ككل.

وفى الحـــوض الثالـــث يـــنخفض المعدل إلى (٢٣)، مما يدل على اقترابه الواضح من الشكل المســـتطيل، ويرتبط ذلك باتجاه الجريان نحو الشرق متمشياً مع اتجاه محاور التضاريس الرئيسية بالمنطقة من حافات ومنخفضات من الشرق إلى الغرب (محمد صبرى محسوب، ١٩٩٤، ص٢٢٦).

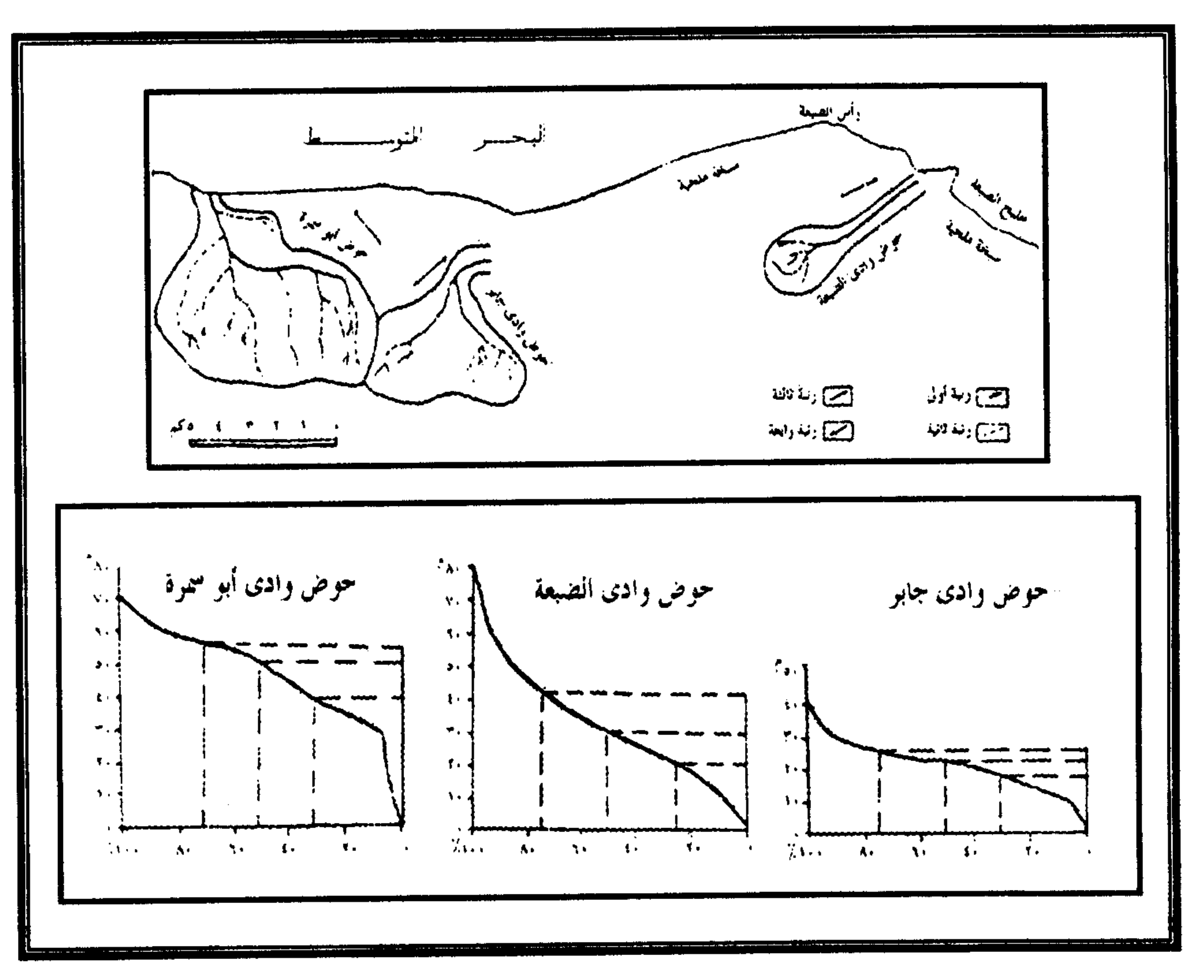
---

[*] تقسم نسبه التقطع إلى (٣) درجات .

- الخشنة أقل من ٤.
- المتوسطة ٣ – ١٠.
- ناعمة أكثر من ١٠

جدول (٢٤) بعض القياسات المورفومترية بأحواض أودية أبو سمرة وجابر والضبعة

اسم الحوض	أقصى طول للحوض (كم)	عرض الحوض (كم)	محيط الحوض (كم)	معامل الاستطالة	نسبة العرض إلى الطول	معامل الاندماج	معامل الشكل	مساحة الحوض (كم٢)
أبو سمرة	٧	٤٤	٢٢,٦	٠,٨٦	١,٧	٠,٤	٠,٥٩	٢٩
جابر	٧,٤	٣,٢	٢	٠,٩٢	١,٤٦	٠,٦٧	٠,٦٨	١٥
الضبعة	٦	١	١٣,٢			٠,٩	٠,١٧	٦



شكل (١٠٠) أودية جابر والضبعة وأبو سمرة ومنحنياتها الهبسومترية

نسبة الطول إلى العرض :

ينخفض فى الحوضين الأولين (أبو سمرة، وجابر) إلى (١,٧) و (١.٤٦) بالترتيب وهذا يتمشى مع نتائج تطبيق معامل الاستطالة حيث يبتعدان عن الشكل المستطيل شكل (١٠١)، بينما نجده يرتفع إلى (٦) فى حوض الضبعة وهو أقربها إلى الشكل المستطيل.

معامل الاندماج :

يبلغ فى حوض وادى أبو سمرة (٠,٤)، وفى حوض وادى جابر (٠,٦٧)، بينما يرتفع قليلاً فى حوض وادى الضبعة إلى (٠,٩)، وهذه القيم المنخفضة تدل على أن هذه الأودية رغم صغر مساحة أحواضها قد قطعت شوطاً كبيراً من مراحل تطورها التحاتى خاصة وادى أبو سمرة.

معامل الشكل :

بتطبيق هذا المعامل على وادى أبو سمرة نجده يبلغ (٠,٥٩)، يرتفع إلى (٠,٦٨) بالتطبيق على وادى جابر مما يدل على أن الأخير أقربها للشكل الرابع – أى أقرب بعد الحوضين من بعضهما مما يدل على خصائصه الهيدرولوجية ويعكس فى الوقت ذاته مرحلة النضج التى تمر بها منطقة حوض وادى جابر.

وفى حوض وادى الضبعة تنخفض قيمة الشكل بصورة حادة إلى (٠,١٧) فقط مما يعكس ازدياد واضح فى الطول النسبى لأحد بعدى الحوض على حساب البعد الآخر.

(٣) تضرس الحوض :

معدل التضرس :

بلغت قيمته فى حوض وادى أبو سمرة (٨,٥٧) وفى حوض وادى جابر (٥.٣) يرتفع إلى (١١.٦) فى حوض وادى الضبعة مما يدل على زيادة درجة التضرس فى الحوض الأخير بالمقارنة بحوض أبو سمرة وحوض جابر. حيث تتناسب قيمة هذه المعدل تناسباً طردياً مع درجة تضرس الحوض كما يتضح ذلك من الجدول التالى (٢٥) :

جدول (٣٥) قيم معدل التضرس والوعورة والكثافة التصريفية بأحواض أبو سمرة وجابر والضبعة

اسم الحوض	قيمة معدل التضرس	قيمة الوعورة	الكثافة التصريفية (كم^2)
أبو سمرة	٨.٥٧	٠.٩٨	١ ٥١
جابر	٥.٣	٠.٠٥	١.٢٤
الضبعة	١١.٦	٠.٠٥٣	٨ ٣

قيمة الوعورة : *Ruggedness Value*

بتطبيق قيمه الوعورة على أحواض الأودية الثلاثة وجد أنها تتراوح ما بين (٠,٩٨) فى حوض أبو سمرة، ونحو (٠,٠٥) فى كل من حوضى جابر والضبعة وهى قيم منخفضة تتميز بها عادة الأودية التى تجرى فى مناطق هينة التضاريس بشكل عام حيث ترتفع عند زيادة التضرس الحوضى أو عند زيادة أطوال المجارى على حساب المساحة الحوضية *(Schumm, S., A., 1956, p.12)*.

(٣) الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف المائى بالأحواض الثلاثة :

شكل الشبكة :

كما عرفنا يتم قياس خصائص شبكات التصريف من خلال حساب معدلات التشعب.

معدلات التشعب :

يتضح من الجدول (٢٦) بعض الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف المائى بالأحواض الثلاثة والتى يمكن إيجازها فيما يلى :

- يبلغ معدل التشعب ما بين المرتبة الأولى والثانية فى الحوض الأول (٢,٠٩) بينما يزيد فى وادى جابر إلى (٢,٦) ويقل إلى (٢) فقط فى وادى الضبعة.
- يبلغ معدل التشعب فى حوض أبو سمرة (٢,٩) وفى حوض جابر (٢,٣٦) يقل إلى (٢) فقط فى حوض الضبعة وهذه المعدلات أقل قليلاً من معدلات التشعب فى الأودية النهرية دائمة الجريان والتى تتراوح ما بين (٣ – ٥) وإن كانت تقترب من مثيلاتها من الأودية الصحراوية فى مصر.
- بلغ متوسط ول أودية الرتبة الأولى (٠,٣٨)كم ف حوض أبو سمرة، و(٠.٧٥)كم فى حوض جابر وحوض الضبعة، بينما تبلغ متوسطات أطوال المرتبة الثانية فيها على الترتيب (١,١٩ – ٠,٦٤ – وكيلومتر واحد)، ويعنى ذلك أن متوسط أطوال الرتبة الأولى فى وادى أبو سمرة أقل كثيراً من متوسط طول المرتبة الثانية، أى أن التتابع بين الرتبتين تتابع سريع، ويرجع ذلك إلى أن أودية الرتبة الأولى تنحدر على الحافات المنحدرة ما لا يعطيها فرصة لزيادة أطوالها بالإضافة إلى أنها تعيش خصائص الشباب، بينما تمر الأودية فى المرتبة الثانية فى أراضى المنخفض الطولى أو السهل الساحلى المرتفع لمسافات طويلة نسبياً.

وبالمقارنة نجد التتابع بين روافد المرتبة الأولى والثانية فى كل من وادى جابر والضبعة يسير فى الأول بطئ للغاية حيث يزيد متوسط الأودية بالرتبة الأولى عن الثانية وذلك بسبب امتداد الأولى داخل أراضى سهلية منخفضة، وفى حوض وادى جابر يسير التتابع معتدلاً بشكل عام.

- يبلغ متوسط طول الرتبة الثالثة فى الأودية الثلاثة على الترتيب (١,٤ و ٢,٢ و ٤,٢) والأخير يمثل طول النهر الرئيسى بحوض الضبعة. وترجع زيادة أطوال هذه الرتبة إلى امتدادها فى منطقة امتداد الحافات الطولية حيث تقطعها فى خطوط مستقيمة.

جدول (٣٦) معدلات التشعب بأحواض أبو سمرة وجابر والضبعة

الرتبة	وادى أبو سمرة			وادى جابر			وادى الضبعة		
	العدد	التفرع		العدد	التفرع		العدد	التفرع	
١	٢٣	—	—	١٣	—	—	—	—	—
٢	١١	٢,٠٩	٣٤	٥	٢,٦	١٨	٤٦,٨	٢	١٢
٣	٣	٣,٦٦	١٤	٢	٢,٥	٧	١٧,٥	١	٥
٤	١	٣	٤	١	٢	٣	٦	—	١
المجموع	٣٨	٨,٧٥	—	٢١	٧,١	—	٧٠,٣	—	١٨
معدل التفرع	٢,٩	—	—	—	٢,٣٦	—	—	—	—

كثافة التصريف (الكثافة التصريفية)

تبلغ قيمتها فى وادى أبو سمرة (١,٥١) كم/كم-٢- وفى وادى جابر (١,٤)، وفى الضبعة (٠,١٤) وهـــى نسبة منخفضة تدل على تباعد المجارى عن بعضها إلى جانب قصرها بالنسبة لمساحة أحواضها ويظهر ذلك بوضوح أكثر فى وادى الضبعة.

تكرار القنوات المائية :

تصـــل إلى (١,٣) فى وادى أبـــو سمـــرة، (١,٤٤) فى وادى جابـــر، وتـــنخفض إلى (٠,٨٢) فى حوض وادى الضبعة.

(جـ) بعض القياسات المورفومترية بجزيرة شدوان بالبحر الأحمر:

تعـــد جزيرة شدوان أكبر الجزر المصرية مساحة ومن أكثرها تضرساً وأعلاها منسوباً، حيث تبلغ مساحتها (٤٢)كم٢ وهى الجنوب الشرقى (١٣,٥٪)كم، وأقصى عرض لها (٤,٣)كم ومتوسط عرضـــها (٣,٣)كم، يبلغ معدل استطالتها (٠,٤٦)، وبتطبيق معامل الشكل عليها وجد أنه يصل إلى (٠,٢٣) مما يدل على أنها غير متناسقة الأبعاد.

١) تتمـــيز بسواحلها قليلة التعرج والتى تظهر مستقيمة فى قطاعات عديدة منها خاصة فى سواحل الجروف المـــنحدرة، ويظهـــر ذلك بوضوح فى الجانب الشرقى من الجزيرة خاصة فى القطاع الساحلة (أ ب) الممتد على الطرف الجنوبى الشرقى حتى أقصى امتداد للتحدب الساحلى حيث يبلغ معامل التعرج هنا (١,٠٨) فقط وذلك بسبب الأصل الصدعى للساحل، وأقصى قيمة لمعامل التعرج على طول سواحل الجزيـــرة البـــالغ (٤٠)كم (١,٣٦) فى القطاه (د هـــ) من الساحل الشمالى الغربى الذى يمتد أمامه إطار مرجانى وظهور أحد الخلجان (محمد صبرى محسوب، ١٩٤٤، ص١٨٤).

٢) بالنسبة لسطح الجزيرة فكما ذكرنا يتميز بالوعورة والارتفاع وشدة التقطع بفعل التصدع وعمليات التعرية المائية حيث يبلغ عدد الأودية المتجهة نحو الشرق (٤٤) وادياً منها (٣٥) وادياً مكونة من رتبة واحدة بمتوسط طول (٠,٨)كم، بينما يبلغ عدد الأودية ذات الرتبتين على هذا الجانب ثمانية أودية فقط تتمثل فى الأودية أرقام (٥-٦-٧-٨-٩-١٠) بالشكل (١٠٩)، وتتراوح أطوالها بين نصف كيلومتر فى الوادى رقم (١٠) و (٢,٢كم) فى الواديين رقم (٧) ورقم (٩).

يبلغ عدد الأودية المتجهة نحو الجنوب الغربى (٤٧) وادياً منها (٣٥) وادياً من رتبة واحدة متوسط أطوها أكثر قليلاً من الكيلومتر وأن كان بعضها يصل إلى نحو كيلومترين والبعض الآخر أقل من نصف متر وخاصة تلك الأودية التى تنحدر من منطقة تقسيم المياه المحلية فى أقصى الطرف الشمالى الغربى للجزيرة، ويبلغ عدد الأودية ثنائية الرتبة فى هذا الاتجاه الجنوبى الغربى عشرة أودية يبلغ متوسط طوها ثلاثة كيلومترات أطوها جميعاً الوادى رقم (١٢) (٤)كم وأقصرها الوادى رقم (١١)، ويبلغ عدد الأودية ثلاثية الرتبة واديان فقط هما رقم (١٦) ورقم (١٧) طول الأول بروافده (٦)كم والثانى (٧)كم، وهو أطول الأودية بالجزيرة.

تنحدر نحو الشمال الغربى أربعة أودية منها واديان من رتبة واحدة ووديان من رتبتين الوادى (١) بطول كيلو مترين والوادى رقم (٢) ذو مرتبة واحدة وطوله نصف كيلومتر.

أما الأودية الداخلية فتتكون من أربعة أودية يبلغ متوسط طوها (٠,٦)كم تنحدر من السفوح الغربية للتلال الوسطى نحو السبخة الداخلية.

٣) بالنسبة لأحواض الأودية بالجزيرة فتتميز بصغر مساحتها حيث تتراوح المساحات ما بين (٠,١ كم^2) فى أصغرها مساحة حوض (١٠) وحوالى (١,٥)كم^2 أكبرها مساحة.

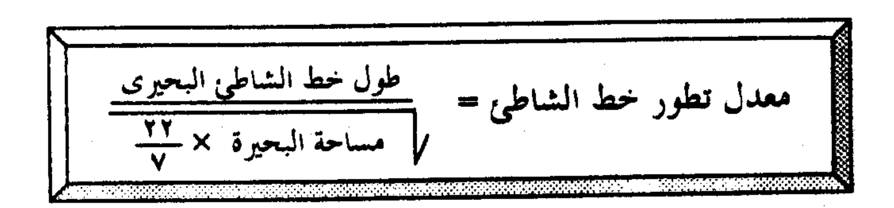
٤) تتميز أراضى أحواض الأودية بالتضرس والوعورة وبتطبيق معامل التضرس نجده مرتفع حيث بلغ فى الحوض رقم (٢) (٢٢,٢) وهو أدنى معامل تضرس وبلغ فى أقصاها حوض رقم (٨) (٢٤٠) وهو معامل ذو قيمة مرتفعة للغاية تدل على الفارق التضاريسى الكبير داخل الحوض رغم صغر مساحته التى تصل إلى أقل من ثلث كيلومتر مربع وطول الوادى نحو كيلو متر واحد والذى ينحدر على جروف تطل على البحر نحو الجنوب الشرقى.

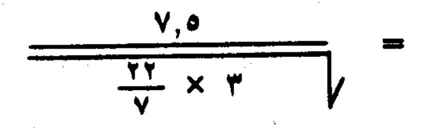
٥) بتطبيق عامل الشكل وفقاً لمعادلة هورتن التالية وجد أن متوسطة فى العشرين حوضاً المختارة بالجزيرة (٠.٢٨) وهو رقم منخفض مما يدل على أن أحواض هذه الأودية غير متناسقة فى شكلها بشكل عام ،وقد يرجع ذلك إلى أن أحواض هذه المنطقة مع صغر مساحتها إلا أنها تختلف فى شكل أحواضها من المنبع إلى المصب ،ويعد الحوض رقم (٤) أقربها جميعا إلى الشكل المنتظم حيث تبلغ قيمة عامل الشكل به (٠,٩٦) يليه الحوض رقم (١٠) وقيمة عامل الشكل به ٠,٦٢٥ بينما يتدنى عامل الشكل إلى (٠,٤٦) فى الحوض رقم (٣) وحوالى (٠,٢٧) فى الوادى رقم (٢).

٦) يظهـــر أثــر الأوديـــة فى تضرس الجزيرة وذلك من خلال تطبيق نسبة التضرس والتى تبلغ فى الجزيرة ككــل (٢١,٤) وهى نسبة مرتفعة بالمقارنة بغيرها من الجزر الأخرى ، وتبلغ نسبة تقطع السطح الناتجة عــن قســمة عــدد الأوديــة على محيط الجزيرة إلى (٢,٥٧) بينما تبلغ فى جزيرة الجفتون (١,٥٢) (محمد صبرى محسوب ،١٩٩٤ ،ص ٢٩٧).

(د) مورفومترية بحيرة مرسى مطروح الشرقية :

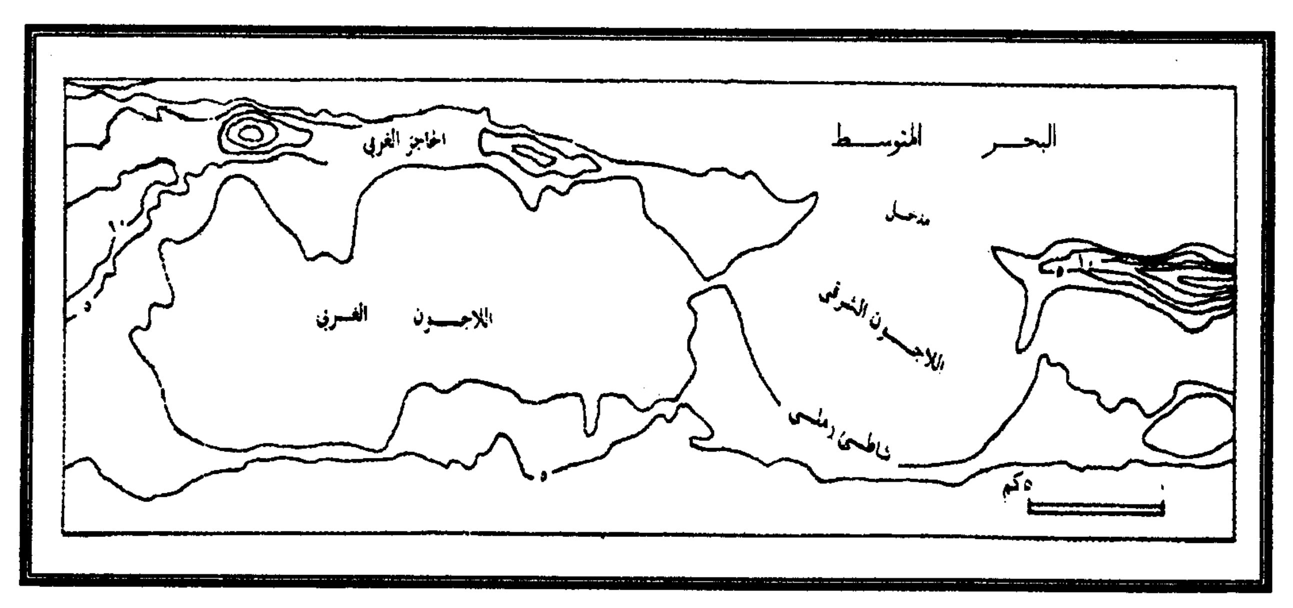
- تبلغ مساحة البحيرة (١,٥)كم٢ بالإضافة إلى نصف كيلو متر تمثل مساحة اللاجون الأزرق .
- تــبلغ أطــوال سواحل البحيرة متضمنة سواحل اللاجون الأزرق ستة كيلومترات وأقصى طول للــبحيرة (٣,٢٥كــم) ممــتد فيما بين أقصى نقطة غربية حتى أقصى نقطة على الساحل الشرقى للاجــون الأزرق وأقصـــى عــرض (١,٢٥)كم ويمتد من منتصف مدخل البحيرة عند الصخرة البيضــاء حــتى نقطــة عــلى شــاطئ المحافظة فى الجنوب شكل (١٠١) مع متوسط عرض أقل مــن كيلومتر واحد ،مع الأخذ فى الاعتبار ضيق منطقة اللاجون الأزرق فى الجزء الشرقى والذى لا يزيد اتساعه عن (٦٠٠) متر، بينما يبلغ طوله أكثر قليلاً من ١٠٠٠ متر.
- يبلغ اتساع فتحة البحيرة (١,٢٥)كم تنتشر على طول امتدادها مجموعة من الجزيرات الصخرية المنخفضة .
- عــادة مـــا تتخذ اللاجونات الساحلية الشكل المستطيل أو الطولى وقد تم تطبيق معدل الاستطالة على البحيرة وبلغ (٠,٦) وبتطبيق نسبة الطول إلى العرض وهو أنها تساوى (٢,٦) مما يدل على اقتراب البحيرة من الشكل المستطيل .
- نظــراً لأهمية العلاقة بين البحيرة وطول خط شاطئها كمؤشر للتعرف على أصلها وقد تم تطبيق معادلة "سول أرنو " وذلك لحساب معدل تطور خط الشاطئ وهذه المعادلة تأخذ الصورة التالية :





وتـــدل هذه القيمة والتى تزيد على (١,٥) على أن البحيرة تقع فى منطقة تتعرض سواحلها للنحـــت ويتعرض خط شاطئها للتراجع وان كان هذا المؤشر لا يعطى الحقيقة الثابتة المتمثلة فى تعرض شواطئها للإرساب وذلك بسبب التدخلات البشرية التى أفسدت النظم الطبيعية للاجون .

- تـــبلغ نسبة طول مدخل (فتحة) البحيرة التى تحمل أطوال سواحلها (٢٠,٨٪) وهى نسبة مرتفعة لأية بحيرة تجعلها أقرب إلى شكل الخليج البحيرى.



شكل (١٠١) بحيرات مرسى مطروح

(هـ) مورفومترية بحيرة مرسى مطروح الغربية :

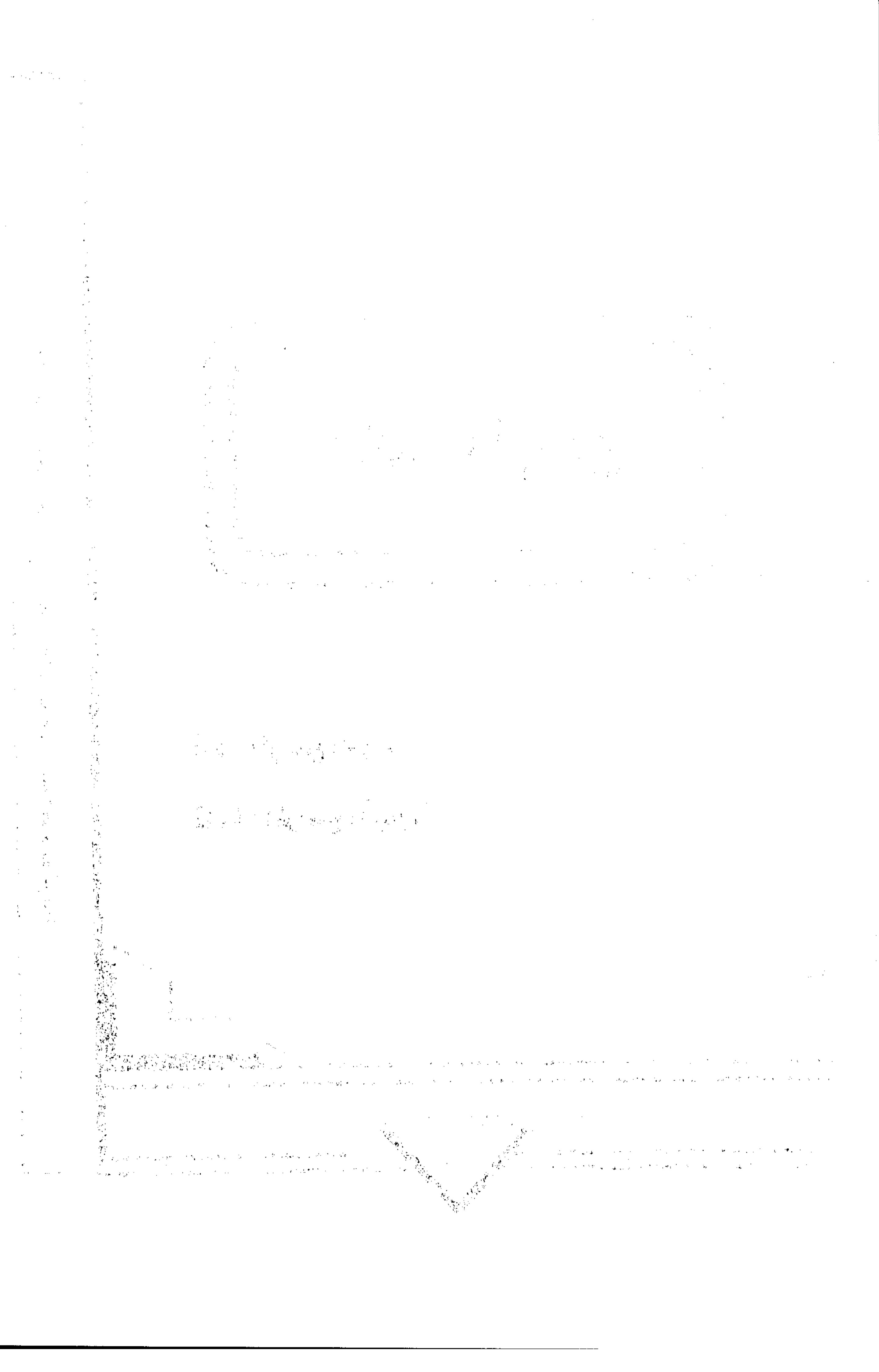
تتمثل أهم الخصائص المورفومترية للبحيرة فيما يلى :

- تبلغ جملة مساحتها (٤,٥)كم وطول سواحلها عشرة كيلومترات، ويبلغ أقصى طول لها من فتحة القـــناة فى أقصـــى الشـــرق إلى الغـــربى لها أربعة كيلومترات ومتوسط اتساعها (١٠٠٠) متر، بيـــنما يصـــل أقصـــى عرض لها (١,٢)كم وتضيق فى جزئها الشرقى إلى أقل من (٩٠٠) متر، حيث يمتد جزء من الحاجز الشمالى فى شكل نتوء أرضى منخفض مثلث الشكل.
- تعد فى أقرب إلى الشكل المستطيل بالمقارنة بالبحيرة الشرقية حيث يبلغ معدل الاستطالة (٠,٦).
- بتطبيق نسبة الطول إلى العرض وجد أنها تصل بهذه البحيرة إلى (٣,٦) وهى نسبة كبيرة تدل على الاستطالة.
- بحساب قيمة معدل تطور خط الشاطئ وجد أنه يصل إلى (٢,٦٥) وهو أكبر من مثليه فى البحيرة الشـــرقية مما يدل على أنها تتأثر بعمليات التعرية وخاصة بعد حفر القنوات الملاحية وتعميق الميناء وبناء الأحواض (محمد صبرى محسوب ،١٩٩٤، ص ص١٠٤-١٢٨).

قائمة المراجع

أولاً : المراجع العربية.

ثانياً : المراجع الأجنبية.



المراجع :

أولاً : المراجع العربية :

١) إحسان أحمد سعيد (٢٠٠٥)
الأشكال الهوائية بمنخفض سيوة – دراسة جيومورفولوجية، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب جامعة القاهرة.

٢) أحمد سالم صالح (١٩٨٩)
المراوح الفيضية فى الجزء الأدنى من وادى وتير بسيناء، نشرة دورية محكمة يصدرها قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة المنيا، العدد ١٥.

٣) أحمد سالم صالح (١٩٩٩)
العمل الميدانى فى قياس أشكال السطح – دراسة فى الجيومورفولوجيا، عين للدراسات والبحوث الإنسانية والاجتماعية، القاهرة.

٤) أحمد عبد السلام على ومحمود محمد عاشور (٢٠٠٠)
التحليل المجهرى لرواسب الرمال فى شمال سيناء، المجلة الجغرافية العربية، العدد ١٦، الجزء الثانى، القاهرة.

٥) أحمد فوزى ضاحى (١٩٩٩)
الحافة الشمالية لهضبة الجلالة القبلية – دراسة جيومورفولوجية، رسالة ماجستير غير مشوره، كلية الآداب، جامعة القاهرة، القاهرة.

٦) أحمد فوزى ضاحى (٢٠٠٤)
الأشكال الإرسابية على ساحل البحر الأحمر فيما بين رأسى أبو سومة شمالاً وحنكراب جنوباً – دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراه غير منشوره، كلية الآداب، جامعة جنوب الوادى، سوهاج.

٧) آمال إسماعيل شاور ومحمد دياب راضى (١٩٩١)
الجغرافيا الطبيعية ، القاهرة.

٨) تغلب جرجيس داوود (٢٠٠٢)
علم أشكال سطح الأرض التطبيقى (الجومورفولوجيا التطبيقية)، بغداد.

٩) جاسم محمد العوضى (١٩٨٩)
حركة الكثبان الهلالية فى الكويت، الكويت.

١٠) جودة حسنين جودة وآخرون (١٩٩١)

وسائل التحليل الجيومورفولوجى، بدون ناشر، القاهرة.

١١) جودة حسنين ومحمود عاشور وآخرون (١٩٩١)

وسائل التحليل الجيومورفولوجى، بدون ناشر، القاهرة.

١٢) جودة فتحى التركمانى (١٩٩١)

جيومورفولوجية المراوح الفيضية على جانبى وادى دهب – الغائب بشبه جزيرة سيناء، مجلة بحوث كلية الآداب، جامعة المنوفية، العدد الخامس.

١٣) حسن رمضان سلامة (١٩٨٢)

الخصائص الشكلية ودلالتها الجيومورفولوجية، نشرة دورية محكمة يصدرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ٤٣، الكويت.

١٤) حسن رمضان سلامة (١٩٨٣)

مظاهر الضعف الصخرى وآثارها الجيومورفولوجية، مجلة الجمعية الجغرافية الكويت، العدد ٥٣، الكويت.

١٥) رمضان عبد الحميد نوفل (١٩٩٤)

حواجز البحيرات الشمالية فى مصر – دراسة جيومورفولوجية، رسالة ماجستير غير منشوره، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة المنوفية.

١٦) السيد السيد الحسينى وعلى عبد الله مغرم (١٩٧٧)

أشكال السفوح واستخدامات الأرض فى سراة غامد، مجلة كلية العلوم، جامعة الملك عبد العزيز، والسعودية.

١٧) سيد مرسى (٢٠٠٢)

الرؤوس على ساحل البحر الأحمر، رسالة ماجستير غير منشوره، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة القاهرة.

١٨) صابر أمين دسوقى (١٩٨٧)

دراسة مقارنة لسفوح بعض أشكال السطح فى مصر، رسالة دكتوراه غير منشوره، قسم الجغرافيا بكلية الآداب، جامعة عين شمس.

١٩) صابر أمين دسوقى (بدون تاريخ).

الدراسة الميدانية. بنها .

٢٠) طه محمد جاد (١٩٨٣)
الجمرفلوجية – مجالها ومقياس الدراسة فيها وعلاقتها بالعلوم الأخرى، الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ٥٤، الكويت.
٢١) عبد الباقى مصطفى حاح (١٩٩١)
أهمية التحليل الطوبوغرافى فى تخطيط المناطق الجبلية، الندوة الجغرافية الرابعة لأقسام الجغرافيا بالسعودية، الجزء الأول، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.
٢٢) عبد الحميد أحمد كليو ومحمد إسماعيل الشيخ (١٩٨٦)
نباك الساحل الشمالى فى دولة الكويت، الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت.
٢٣) فخرى موسى، وحسن فهمى ومحب الدين وفاروق فوزى (١٩٦٨)
الجيولوجيا الهندسية، دار المعارف، الإسكندرية.
٢٤) فردريك هـ . لاهى (١٩٦١)
ترجمة فتح الله عوض ومحمد عبد الوهاب وسليمان محمود ومراد يوسف، جيولوجيا الحقل، دار النهضة، القاهرة.
٢٥) لوناب ليبولد، ترجمة رياض حامد الدباع ومحمد شامل (١٩٧٧)
الماء هو الأساس، الموصل.
٢٦) محمد صبرى محسوب (١٩٨٤)
العمليات الهوائية ودور التجارب المعملية والدراسات الحقلية فى فهمها، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد ١٦، القاهرة.
٢٧) محمد صبرى محسوب (١٩٨٧)
مورفولوجية الأراضى بمنطقة أبها الحضرية – من خلال الدراسة الميدانية والقياسات والمورفومترية، منشورات الندوة الثالثة لأقسام الجغرافيا بالسعودية، جامعة الإمام، الرياض.
٢٨) محمد صبرى محسوب (١٩٩١)
جيومورفولوجية السواحل، دار الثقافة للنشر والتوزيع، القاهرة.
٢٩) محمد صبرى محسوب (١٩٩٦)
البيئة الطبيعية – خصائصها وتفاعل الإنسان معها، دار الفكر، القاهرة.
٣٠) محمد صبرى محسوب (١٩٩٧)
جيومورفولوجية الأشكال الأرضية، دار الفكر العربى ، القاهرة.

٣١) محمد صبرى محسوب (١٩٩٧)

جيومورفولوجية الأشكال الأرضية، دار الفكر العربى، القاهرة.

٣٢) محمد صبرى محسوب وإبراهيم أرباب (١٩٩٩)

الأخطار الطبيعية – الحدث والمواجهة – دراسة جغرافية، دار الفكر العربى، القاهرة.

٣٣) محمد صبرى محسوب (٢٠٠١)

الأطلس الجيومورفولوجى – دراسة تحليلية للشكل والعملية ، دار الفكر العربى، القاهرة.

٣٤) محمد صبرى محسوب (٢٠٠٣)

القاموس الجغرافى – الجوانب الطبيعية والبيئية، مكتبة الإسراء ، القاهرة.

٣٥) محمد صبرى محسوب (٢٠٠٤)

الخريطة الكنتورية فى الفهم الجيومورفولوجى، مكتبة الإسراء ، القاهرة.

٣٦) محمد عبد الغنى عثمان مشرف (١٩٩٧)

أسس علم الرسوبيات، النشر والمطابع – جامعة الملك سعود، السعودية.

٣٧) محمد عبد الله الصالح (١٩٩٢)

بعض طرق قياس المتغيرات فى أحواض التصريف، مجلة كلية الآداب، جامعة الملك سعود، السعودية.

٣٨) محمود إبراهيم دسوقى (٢٠٠٥)

الأشكال الأرضية الناتجة من فعل الرياح بمنخفض الواحات البحرية دراسة جيومورفولوجية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة المنوفية.

٣٩) محمود عاشور (١٩٨٦)

طرق التحليل المورفومترى لشبكات التصريف المائى، حولية كلية الإنسانيات، الإنسان والعلوم الاجتماعية، العدد ٩، جامعة قطر، الدوحة.

٤٠) ممدوح تمامى عقل (١٩٩٧)

جيومورفولوجيا الظاهرات الكارستية فيما بين وادى الكلب وابراهيم بلبنان، إصدار مجلة كلية الآداب، المجلد الخامس والأربعون.

٤١) ممدوح تمامى عقل (٢٠٠٢)

النحت والانهيال وأثرها فى مورفولوجيا ضفاف النيل فيما بين كوم أمبو وإسنا، مجلة كلية الآداب، العدد ٢٦، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية.

٤٢) نبيل سيد امبابى (١٩٧٢)

أشكال السفوح، المجلة الجغرافية العربية، العدد الخامس، القاهرة.

٤٣) نبيل إمبابى ومحمود عاشور (١٩٨٣)

الكثبان الرملية فى شبه جزيرة قطر، الجزء الأول، مركز الوثائق والبحوث الإنسانية، جامعة قطر، الدوحة.

٤٤) نبيل إمبابى (١٩٨٥)

الكثبان الرملية فى شبه جزيرة قطر.

٤٥) نبيل سيد إمبابى وأحمد عبد السلام (١٩٩٠)

المنخفضات فى شبه جزيرة قطر – دراسة جيومورفولوجية، الدوحة.

٤٦) يحيى عيسى فرحان (بدون)

مورفولوجية المنحدرات فى مناطق مختارة من وسط الأودية، جامعة اليرموك.

ثانياً : المرجع الأجنبية :

1) *Abd El-Rahman and Others (1980 – 1981) Some Geomorphological Aspects of Sewa Region, Ball, Soc., Geog., Egypt, Vol. 53.*

2) *Abott, A., F., (1984) Ordinary Level Physics, London.*

3) *Bird, D., M., (1970) Sand, Canadian Geog. Jorn., Vol. LXXX, No. 6.*

4) *Chorely, J., Schumin and Sugdeu, A., (1984) Geomorphology, London.*

5) *Cooke, R., and Doornkamp, J., (1978) Geomorphology in Environmental management, An Mlroducleon. London.*

6) *Cooke, R., U., and Warren (1973) Geomorphology in Deserts, Bats ford, London.*

7) *Cremona, J., (1980) A Field Atlas of Sea Shore, New York.*

8) *Davies, J., L., (1980) Geographical Variation in Coastal Development, London.*

9) *Derbyshiro, L., et al, (1979) Geomorphological Processes, London.*

10) *Elennie, K., W., (1970) Desert Sedimentary Environments, London.*

11) *Euilcher, A., (1958) Coastal and Submarine Morphology, London.*

12) *Eyre, P., M., (1990) People and Physical Environment, Hong Kong.*

13) *Faivbridge, R., W., (1968) Encyclopedia of Geomorphology,*

14) *Gardiner, V., (1986) International Geomorphology, John Wiley and Sons, New York.*

15) *Gill, E., D., (1972) Ramparts on Store Platforms, Pacific Geology, Vol. 4, pp: 121133.*

16) *Goudie, A., (1981) Geomorphological Techniques, London.*

17) *Gregory, K., J., and Wa'ling, D., E., (1973) Drainage Basin – Form ana Process, Edward Arnold, London.*

18) Hart, M., G., (1986) Geomorphology Pure and Applied , London.

19) Higgins, G., G., (1986) Nips, Notches and the Solutions of Coastal Limestone, Estuarine Marine Science, Vol. 10, pp: 15-30.

20) Hillo, E., S., (1949) Shore Platforms, Geological Magazine, Vol. 86, pp: 52-137.

21) Hillo, E., S., (1972) Shore Platforms and Wave Ramps, Geological Magazine, Vol. 109, pp: 80-81.

22) Jackson, J., H., and Evans, B., (1973) Earth Science, Houghton Mifflin, Boston.

23) King, A., M., C., (1978) Techniques in Geomorphology, Edward Arnold, London.

24) King, C., (1980) Physical Geography Basil Blackkwell, Oxford.

25) Knapp, B., et al, (1989) Challenge of Natural Environment

26) Lahee, F., H., (1961) Field Geology (6th ed), New York.

27) Mabbutt. J., A., (1977) Desert Landforms, the Mit press, Cambridge, Massachusettes.

28) Mahran, T., (1994) Faces and Sedimentary Evolution of Syn-Rift Middle Miocene – Pliocene Sediments of Wadi Queih – Wadi Um Aish Area, South of Safaga, Red Sea, Egyp. Jorn. Of Geol., Vol. 37, No. 2.

29) Mcnmanus, J., (1988) Grain Size Determination and Interpretation, in Techniques in Sedimentology. Tucker, M., (Eder), Blackwell Science.

30) Merry, K., P., (1946) Marine Solution Basens, Journal of Geology, Vol. 54.

31) Morisawa, M., (1984) Rivers – Form and Process, Longman, London.

32) Newson, M., D., and Hanwell, J., D., (1982) Systematic Physical Geography, London.

33) Ollier, C., D., (1979) Weathering, Longman, London.

34) Pitty, A., F., (1973) Introduction to Geomorphology, London.

35) Pye, K., and Tsoar, H., (1990) Aeolian Sand and Sand Dunes, London.

36) Ring, C., A., M., (1959) Beaches and Coasts, London.

37) Sellwood, B., W., (1978) Shallow Water Carbonate Environment in Sedimentary Environment and Faces, Edited by Reading, ., C., London.

38) Statham, T., (1976) Earth Surface Sediment Transport, Oxford.

39) Small, R., J., (1977) The Study of Landforms "A Text Book of Geomorphology" 2nd Ed., press, Cambridge Univ., London.

40) Steers, J., A., (1953) The Sea Coast, London.

41) Steers, J., A., (1969) Coasts and Beaches, London.

42) Steers, J., A., (1971) Applied Coastal Geomorphology, Macmillan, London.

43) Sunamura, T., (1992) Geomorphology of Rocky Coasts Chechesler.

44) Sweeting, M., M., (1972) Karst Land Forms, Macmillan.

45) Thomas, S., G., (1997) Arid Zone Geomorphology Process, Form and Change in Dry Lands, 2ed, London.

46) Trudgill, S., (1985) Limestone Geomorphology, Longman, London.

47) Warren, A., (1976) Aeolian Processes "in Process in Geomorphology, Edited by Embellon, C., and Thornes, J., London.

48) Young, A., (1972) Slopes, Oliver and Boyd, Edinburgh.

الملاحق

ملحـــــــق (١)

نتائج التحليل الميكانيكى لرواسب المراوح الفيضية بمنطقة الجلالة القبلية – الصحراء الشرقية – مصر

م	موقع العينة	نسبة المواد الخشنة ٪	نسبة المواد الناعمة ٪	نسبة المواد الناعمة ٪						الجملة ٪	متوسط الحجم مم	الانحراف المعيارى Ø	الالتواء Ø	التفلطح Ø
				حصى ٢ – ٤ مم	رمل خشن جداً ١ – ٢ مم	رمل خشن ٠,٥ – ١ مم	رمل متوسط ٠,٢٥ – ٠,٥ مم	رمل ناعم ٠,١٢٥ – ٠,٢٥ مم	رمل ناعم جداً وطمى وصلصال ٠,٠٢٦ – ٠,١٢٥ مم					
١	أعلى مروحة أسخر	٩٢,١	٧,٩	١٠,٩	١٨,٣	١٥,٤	١٤,٩	١٦,١	٢٤,٤	١٠٠	١,٢٦٧	١,٦٣٢	٠,١٣٠-	٠,٥٥٩
٢	أوسط مروحة أسخر	٩٣,٧	٦,٣	١٠,٤	١٨,٢	١٥,٣	١٥,٢	١٢,٧	٢٨,٢	١٠٠	١,٠٣٣	١,٦٣٢	٠,٣٣٣	٠,٥٥٩
٣	أدنى مروحة أسخر	٩٠	١٠	١٤,٩	٢١,٩	١٤,٨	١٨	١٥,٩	١٤,٥	١٠٠	١,٠٥٠	١,٥٧٩	٠,٠٢١	٠,٦٠١
٤	أعلى مروحة أم دمرانة	٩١	٩	١١,٤	٢٥	١٩,٦	١٦	١٢,١	١٥,٩	١٠٠	١,٠٦٧	١,٦٠٧	٠,١٠١	٠,٧٣٨
٥	أوسط مروحة أم دمرانة	٧٥	٢٥	٩,٤	١٤,١	١٤,٧	١٩,٦	٢٣,١	١٩	٩٩,٩	١,٤٦٧	١,٥٥٧	٠,٢٤٤	٠,٧٣٨
٦	أدنى مروحة أم دمرانة	٤٧	٥٣	١,٨	٦,٧	١٠,٢	٢٩	٣١,١	٢١,٢	١٠٠	٢	١,١١٣	٠,٢٤١-	٠,٩٠٩
٧	أعلى مروحة أبو معيمل	٩٣	٧	٨,٣	١٢,٥	١٠,٤	١٥,٣	٣٠,١	٢٣,٣	٩٩,٩	١,٧٠٠	١,٤٩٢	٠,٤٧٧-	٠,٦٨٨
٨	أوسط مروحة أبو معيمل	٨٣	١٧	٢	٥,٣	٦,٣	٩,٥	١٨,٤	٥٨,٥	١٠٠	٢,٦٣٣	١,٠١٦	٠,٦٩٥-	١,٥٩٨
٩	أدنى مروحة أبو معيمل	٦١	٣٩	٨,٥	٢٣,٣	١٧,٥	١٤,٢	١٣	٢٣,٤	٩٩,٩	١,١٦٧	١,٦٢٢	٠,١١١	٠,٦٢٨
١٠	أعلى مروحة أم عنبة	٩٠,٧	٩,٣	٩	٢٥,٢	٢٠,٨	١٨,٩	٩,٩	١٦,٢	١٠٠	١,٠٦٧	١,٦٠٧	٠,١٠١	٠,٧٣٨
١١	أوسط مروحة أم عنبة	٨٦	١٤	٩,٤	٢٢,٩	٢٣,٨	٢٢,٤	١٠,٩	١٠,٦	١٠٠	٠,٩٦٧	١,٤٣٤	٠,٠١٠-	٠,٨٤٩
١٢	أدنى مروحة أم عنبة	٧٨	٢٢	١٠,٨	٢٢,٩	١٩,٥	١٩,٨	١٢,٨	١٤,٢	١٠٠	١,٠٣٣	١,٥٤٢	٠,٠١٤	٠,٧٥١
١٣	أعلى مروحة أم جراف	٩٥	٥	٩,٥	١٧,٦	١٤,٣	١٩	١٦,٦	٢٣	١٠٠	١,٢٦٧	١,٦٠٧	٠,٠٦٩-	٠,٦٥٩
١٤	أوسط مروحة أم جراف	٧٦	٢٤	٨,٩	٢١	١٨	٢٠,٥	١٦	١٥,٦	١٠٠	١,٢٦٧	١,٥٤٢	٠,٠٨٢-	٠,٧٨٤
١٥	أدنى مروحة أم جراف	٣٨,٨	٦١,٢	٧,٣	٢٦,٣	٢٥,٢	٢٠,٥	١٢	٨,٦	٩٩,٩	٠,٨٦٧	١,٢٧٧	٠,١٦٨	٠,٨٣٩

تابع ملحـــــــق (١)

نتائج التحليل الميكانيكى لرواسب المراوح الفيضية بمنطقة الجلالة القبلية – الصحراء الشرقية – مصر

م	موقع العينة	نسبة المواد الخشنة %	نسبة المواد الناعمة %	نسبة المواد الناعمة % حصى ٢ – ٤ مم	 رمل خشن جدا ١ – ٢ مم	 رمل خشن ٠,٥ – ١ مم	 رمل متوسط ٠,٢٥ – ٠,٥ مم	 رمل ناعم ٠,١٢٥ – ٠,٢٥ مم	 رمل ناعم جداً وطمي وصلصال ٠,٠٢٦ – ٠,١٢٥ مم	الجملة %	متوسط الحجم مم		الالتواء Ø	التفلطح Ø
١٦	أعلى مروحة أبو عظام	٩٣,٧	٦,٣	١٠	٢٣,٨	١٩,٢	١٨,٦	١١,٤	١٧	١٠٠	٠,١٦٧	٠,٩٣٢	١,٠٦٧-	٠,٧٠٩
١٧	أوسط مروحة أبو عظام	٨٦,٦	١٣,٤	٩,٧	٢٤,٤	٢٥,٣	٢١,٩	٩,٦	٩,١	١٠٠	٠,٧٦٧	١,٣٥٢	٠,٠٩٤	٠,٩٠٤
١٨	أدنى مروحة أبو عظام	٧٠,٤	٢٩,٦	٨,٣	٢٤,٢	٣٨,٦	٢٠,١	٦,٣	٢,٥	١٠٠	٠,٤٣٣	١,١٣٦	٠,٠٨٩	١,٠٨٣
١٩	أعلى مروحة أبو غرادق	٨٢	١٨	٧,٣	٢١,٤	١٥,٤	١١,٩	١٤,٣	٢٩,٦	٩٩,٩	١,٣٠٠	١,٥٩٩	٠,١١٤-	٠,٥٧٠
٢٠	أوسط مروحة أبو غرادق	٧٥,٧	٢٤,٣	٩,٨	١٦,٨	٩,٥	٨,٧	١٥,٦	٣٩,٤	٩٩,٨	١,٧٠٠	١,٦٣٧	٠,٥٥٠-	٠,٥٨٤
٢١	أدنى مروحة أبو غرادق	٦٩	٣١	٩,٩	٢٠,٣	١٢,٧	١١,٤	١٦,٥	٢٩,٢	١٠٠	١,٣٠٠	١,٦٧٢	٠,١٠٤-	٠,٥٧١
٢٢	أعلى مروحة أم حماضة	٩١,٦	٨,٤	١٠,٧	٢١	١٧,٦	١٥,١	١٢,٩	٢٢,٦	٩٩,٩	١,٢٣٣	١,٦٣٧	٠,٠٠٣	٠,٦٢١
٢٣	أوسط مروحة أم حماضة	٨٣	١٧	٨,٣	١٨,٦	١٦,٩	٢١,٣	١٤,٤	٢٠,٥	١٠٠	١,٣٠٠	١,٥٧٤	٠,٠٥١-	٠,٩١٢
٢٤	أدنى مروحة أم حماضة	٦٧	٣٣	١٦,٢	٣٨,٤	٢٧,٦	١٢,٨	٣,٤	١,٥	٩٩,٩	٠,٥٣٣	١,١٥٧	٠,٧٣٣	٢,٠٤٩
٢٥	أعلى مروحة رالفد أسخر	٧٨	٢٢	١٣,٣	٣١	٢٤,٣	١٦,١	٩,٢	٦	١٠٠	٠,٤٦٧	١,٣٣٦	٠,٣٠١	٠,٨٦١
٢٦	أوسط مروحة رالفد أسخر	٨٦	١٤	١٢,٧	١٩,٣	١٢,٨	١٢,٨	١٧,٤	٢٥	١٠٠	١,٢٣٣	١,٦٧٢	٠,١٢٩-	٠,٥٥٤
٢٧	أدنى مروحة رالفد أسخر	٨٧	١٣	١٠	٣٦,٥	٢٥,٩	١٢,٧	٧,٧	٧,٢	١٠٠	٠,٨٣٣	١,٣٢٧	٠,٤١٩-	١,١٠١
	المتوســـــط العـــــام	٨٠	٢٠	٩,٦	٢١,٤	١٨,٢	١٦,٩	١٤,٤	١٩,٥	٩٩,٩٨	١,١٥٢	١,٤٥٨	٢,٣٠٤-	٠,٨٢٠

رقم الإيداع
٢٠٠٦/٣٢٧٨

الإسراء للطباعة
تليفـون : ٥٦٣٨٣٢٢
تليفاكس : ٥٦٠٤٥٠٠